

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Kód čistoty a morfologie částic jako prevence před poškozením strojních zařízení

Purity Code and Particles Morphology as a Precaution Against Damage Machinery

Vypracoval:
Vedoucí práce:

Bc. Daniel Jaluška
Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Daniel Jaluška

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace:

72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Kód čistoty a morfologie částic jako prevence před poškozením strojních zařízení

Purity Code and Particles Morphology as a Precaution Against Damage Machinery

Zásady pro vypracování:

Čistota oleje je jedním z důležitých faktorů ovlivňujících životnost celého zařízení. Současně z oděrových částic, z jejich množství, morfologie (tvaru) a chemického složení lze určit poškozený nebo opotřebený konstrukční uzel, případně o jaký druh poruchy nebo poškození se jedná. Zabývejte se proto čistotou olejů a možnostmi využití morfologie při diagnostice strojních zařízení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

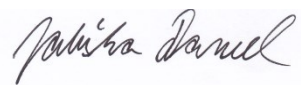


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18. 5. 2015

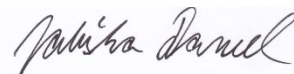
Handwritten signature of Jakub Daniel in black ink on a light blue rectangular background.

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: 18. 5. 2015



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Daniel Jaluška

Adresa trvalého pobytu autora práce: Oldřicha Helmy 139, 742 58 Příbor

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D., za pomoc při měření a za rady a připomínky ke konečnému stavu práce. Ing. Davidovi Šeděnkovi za vedení v laboratoři a velmi ochotný přístup. Dále také paní Haně Haburové z firmy KOMA Commercial, s.r.o., která se mnou prováděla měření a také mi poskytla podkladové materiály. V neposlední řadě taky mé přítelkyni Barboře Janíkové, že semnou vydržela toto těžké období a byla mi oporou a také celé mojí rodině za podporu při studiích.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jaluška, D. *Kód čistoty a morfologie částic jako prevence před poškozením strojních zařízení*

Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015, **75** s. Diplomová práce, vedoucí práce Ing. Blata, J. Ph.D. Diplomová práce se zabývá zjištěním kódu čistoty a morfologii částic jako prevencí před poškozením strojních zařízení.

Práce má tyto hlavní body: V úvodu jsou objasněny hlavní cíle pro splnění daného úkolu, v další etapě je uvedena historie firmy KOMA Commercial s.r.o. a základní rozdělení olejů včetně odborného odběru vzorku. Poté následuje seznámení s tribodiagnostickými metodami zjišťující množství otěrových složek v oleji a vlastní degradaci maziva. Dále se zabývá měřením kódu čistoty a morfologii na 10 vzorcích průmyslových olejů, včetně detailního popisu principu a postupu měření a následnému zhodnocení.

Klíčová slova: kód čistoty, morfologie částic, strojní zařízení

ANNOTATIONS TO THE THESIS

Jaluška, D. *Purity code and particle morphology as a damage machinery precaution*

Ostrava: Department of Processing Machinery and Design, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Ostrava, 2013, **75** p. Thesis, Thesis head: Ing. Blata, J. Ph.D. The bachelor thesis is focused on renovation and individual reparation of vehicle Volkswagen Golf first generation.

The master thesis consists of following main parts: The introduction include the objective explanation, the second phase presents the KOMA Commercial Ltd. history and fundamental oils division including technical sampling. Furthermore, there are the tribodiagnostic methods including detection of wear components amount in oil and lubricant self degradation. The thesis is focus on purity code and 10 industrial oils samples morphology measurement including principles and measurement processes detailed description and assessments.

Keywords: code of purity, particle morphology machinery

Obsah

Úvod	12
1 Společnost KOMA	13
1.1 Historie společnosti KOMA	13
2 Oleje ve Strojírenství	15
2.1 Základové oleje	15
2.2 Aditiva	16
2.3 Rozdělení olejů dle použití	16
2.3.1 Motorové oleje	16
2.3.2 Převodové oleje	17
2.3.3 Průmyslové oleje	18
2.4 Odběr oleje	19
3 Tribodiagnostika	20
3.1 Sledování stavu opotřebení strojních součástí	20
3.2 Sledování degradace maziva	20
4 Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů	21
4.1 Metoda RAMO	21
4.2 Polarografie	21
4.3 Voltametrie	21
4.4 Atomová spektrofotometrie	21
4.5 Atomová emisní spektrofotometrie (AES)	22
4.6 Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS)	22
4.7 Částicová analýza (ferografie s vyhodnocením)	23
4.8 Feroskopické vyhodnocení	23
5 Metody pro sledování degradace maziv	24
5.1 Kinematická viskozita	24
5.1.1 Měření viskozity kapilárním viskozimetrem dle Ubbelohde	25
5.2 Bod vzplanutí	26
5.2.1 Měření v uzavřeném kelímku dle ČSN 65 6065	26
5.2.2 Měření v otevřeném kelímku dle ČSN 65 6212	27
5.3 Kapková zkouška	28
5.4 Obsah vody	28
5.4.1 Vizuální zkouška	29
5.4.2 Prskací zkouška	29
5.4.3 Coulometrická titrační metoda dle Karla Fišera ČSN EN ISO 12937/29	

5.4.4	Destilační zkouška dle ČSN 65 6062	30
5.5	Číslo kyselosti a alkality.....	30
5.5.1	TBN (Total Base Number) – Číslo celkové alkality	30
5.5.2	TAN (Total Acid Number) – Číslo celkové kyselosti.....	30
5.5.3	Měření TAN a TBN.....	30
5.6	Conradsonův karbonizační zbytek (CCT)	31
5.7	Stanovení popela	32
6	Experimentální část	33
6.1	SpectroLNF Q200	34
6.1.1	Princip měření.....	35
6.1.2	Postup měření	35
6.2	Laserový čítač částic PARKER LASER CM.....	37
6.2.1	Princip měření.....	37
6.2.2	Postup měření	38
6.3	Tlakový laboratorní přístroj Diagnostics ENTEK IRD.....	39
6.3.1	Princip měření.....	40
6.3.2	Postup měření	40
6.4	Částicová analýza – Ferrografie s vyhodnocením.....	41
6.4.1	Postup měření	42
6.4.2	Vyhodnocení morfologie mikroskopem.....	43
6.5	Gravimetrické stanovení nečistot	45
6.5.1	Postup měření	46
7	Porovnání vzorků.....	47
7.1	Vzorek č. 5.....	47
7.2	Vzorek č. 7.....	50
7.3	Vzorek č. 8.....	53
7.4	Vzorek č. 9.....	55
7.5	Vzorek č. 29.....	57
7.6	Vzorek č. 35.....	59
7.7	Vzorek č. 36.....	61
7.8	Vzorek č. 42.....	63
7.9	Vzorek č. 43.....	65
7.10	Vzorek č. 44.....	67
8	Zhodnocení měření	69
8.1	Kód čistoty.....	69

8.2	Vázková metoda - gravimetrie	71
8.3	Morfologie částic	72
9	Závěr	73
10	Seznam použité literatury	74

Seznam použitých značek a indexů:

Označení	Název
např.	například
atd.	a tak dále
tj.	to je
apod.	a podobně
tzn.	to znamená
tzv.	tak zvané
TAN	Total Acid Number
TBN	Total Base Number
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
tab.	Tabulka
ACEA	Association des Constructeurs Européens d Automobiles
API	American Petroleum Institute (jakostní norma)
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization
DIN	Deutsches Institut für Normung
SAE	Society of Automotive Engineers (viskozní třída)
VW	Norma společnosti Volkswagen

Úvod

Životnost a spolehlivost strojních zařízení závisí nejen na režimu a podmínkách provozu, ale také na správné volbě použitého maziva a jeho aktuálním stavu. Každý stroj nebo strojní zařízení se při vykonávání požadované operace opotřebovává. Tyto drobné částechy kovů jsou vyplavovány mazacím olejem z třecích míst a cirkulují v mazací soustavě stroje. S tímto vzrůstajícím opotřebením se také zvětšuje koncentrace těchto nežádoucích příměsí v oleji. Jedná se o přirozený proces opotřebením, ale je potřeba tento stav kontrolovat. Informace o aktuálním technickém stavu oleje umožňuje získat tribodiagnostika, která využívá řadu metod od jednoduchých provozních až po instrumentální metody používané na odborných specializovaných pracovištích. Na opotřebením třecích ploch se podílí řada mechanismů. Tyto nežádoucí změny, k nimž na povrchu součástí dochází oddělováním částic mechanickým působením a jsou spojeny se vznikem otěru, mohou být doprovázeny také chemickými a elektrochemickými účinky. Hodnocení tvaru, velikosti, počtu a barvy částic mnohé napoví o tom, z jaké součásti či uzlu strojního zařízení pochází, nebo jakým mechanismem vznikly. Tyto informace jsou velmi důležité pro eliminaci nebezpečí poškození či havárie stroje, aniž by bylo potřeba stroj demontovat, a pomůžou nám s lokalizací poruchy.

V této diplomové práci se zabýváme kódem čistoty a morfologií částic v průmyslových olejích. V teoretické části práce se seznámíme s firmou KOMA Commercial s.r.o. a její historií. Základním rozdělením olejů a odbornému odběru vzorku maziva. V neposlední řadě také tribodiagnostickým metodám zjišťujícím množství otěrových složek v oleji a vlastní degradaci maziva. V praktické části se důkladně věnujeme metodám na zjištění kódu čistoty a morfologii částic. K měření kódu čistoty jsme použili laserový analyzátor SpectroLNF Q200 s možností zobrazení morfologie částic a přibližnému určení způsobu opotřebením. Laserový čítač částic Parker LASER CM a tlakový laboratorní přístroj Diagnostics. K porovnání morfologie částic jsme použili ferogramy a již zmíněný SpectroLNF Q200. Následně jsme provedli rozbor a zhodnocení 10 vzorků olejů zmíněnými metodami. Vzorky olejů nám poskytla firma KOMA Commercial s.r.o.

1 Společnost KOMA



Obr. 1 - Logo KOMA - Industry s.r.o

1.1 Historie společnosti KOMA

Pro tvorbu této kapitoly byly použity zdroje [1]

Společnost **KOMA** byla založena krátce po Sametové revoluci roku 1990 díky možnosti soukromého podnikání. Z počátku se firma zabývala pouze vlastním podnikatelským aktivitám v oblasti strojírenství. Již roku 1994 společnost otevírá nové obchodně-technické středisko v Českém Těšíně, které se zaměřuje na sortiment ložisek, nářadí, ale také se zabývá Technickou diagnostikou. Roku 1995 dochází k založení obchodní společnosti KOMA - Ložiska s.r.o. Nově bylo otevřeno školicí středisko a technická kancelář. Pro velké strojírenské a hutní podniky byl zaveden systém „Just in time“. V roce 1998 zahájení provozu a obchodně-technické činnosti v nově zrekonstruovaném areálu v Ostravě-Vítkovicích. Obchodní sortiment byl rozšířen o těsnění, maziva a nástroje. Roku 2000 dochází k rozdělení podnikatelského záměru do čtyř samostatných oblastí.

- 1) KOMA – Ložiska s.r.o. zabývající se dodávkou širokého spektra komponentů pro strojírenství.
- 2) KOMA – Servis s.r.o. specializované služby v oblasti hydrauliky, výroby a bezdemontážní diagnostiky strojů a zařízení.
- 3) Vlastní technická kancelář pro technickou podporu zákazníků a zajišťování servisu.
- 4) Výzkum a vývoj, kde jsou realizovány vlastní projekty s občasnou spoluprací vysokoškolských institucí.

V roce 2002 bylo otevřeno výrobně-servisní středisko a rozšířen sortiment o převodovky SEW Eurodrive. Nově taky tribologická laboratoř, obrobna kovů, hydraulicko-technologické centrum Parker a servis hydrauliky. Rozšíření obchodního sortimentu o výrobu hydraulických hadic, mazacích systémů a maziv Texaco. Vyčleněná skupina KOMA-Systém zpracovala projekt parkovacího domu, který byl následně oceněn zlatou medailí na MSV Brno. A v roce 2005 byl tento parkovací dům postaven v Ostravě-Svinově.



Obr. 2 - Parkovací dům KOMA

V roce 2010 proběhla Fúze společnosti: KOMA – Ložiska s.r.o a KOMA – Servis s.r.o pod novým názvem společnosti KOMA – Industry s.r.o. Dne 31.10.2014 došlo k odštěpení společnosti KOMA Commercial, s.r.o. Tímto se stala součástí nadnárodní skupiny BRAMMER plc, se sídlem ve Velké Británii.



Obr. 3 - Logo BRAMMER

2 Oleje ve Strojírenství

Pro tvorbu této kapitoly byly použity zdroje [2,3,4,5,7,9,10]

Hlavním posláním mazacího oleje ve strojích a strojních zařízeních je snižování tření, tedy mazání. Dále také chlazení, ochrana proti korozi a oxidaci, těsnící vlastnosti a udržování mazaného místa v čistotě. Olej se skládá ze **základového oleje** a **aditiv**, které vylepšují různé vlastností dle požadavků či daného použití. V této kapitole se budeme věnovat pouze olejům, u kterých provádíme nejčastěji tribodiagnostiku.

2.1 Základové oleje

Základem při výrobě základového oleje je rafinace extrakcí ropné suroviny vhodným rozpouštědlem. Toto rozpouštědlo dokáže z ropné suroviny odstranit většinu látek, které v olejích nepotřebujeme a považujeme je za nežádoucí. Modernější postup s názvem hydrokrakování probíhá při teplotě 400 °C a při vysokém tlaku vodíku. Produktem hydrokrakování jsou velmi kvalitní základové oleje s téměř nulovým obsahem síry, dusíku a s velmi nízkým obsahem aromatických uhlovodíků.

Takto zpracovaný olej má v sobě mnoho parafínů a tím je při pokojové teplotě téměř tuhý. Proto je třeba se těchto parafínů zbavit. Při tradiční metodě se smíchá rafinovaný olej s rozpouštědlem a podchladí se na nízkou teplotu. Tím se vyloučí parafín a je snadně odfiltrovatelný. Modernější způsob je velmi podobný již zmiňovanému hydrokrakovacímu procesu. Tento proces se provede ještě jednou a nazývá se dorafinování oleje. Po této poslední aplikaci máme hotový základový olej, který se dělí do 5-ti skupin dle kvality. Ropné (minerální) oleje tvoří první 3 skupiny z tabulky. Můžeme zde vidět rozdíly v obsahu síry, nasycených uhlovodíků a také viskozitního indexu.

Tab 1- Základové oleje [2]

Skupina	Nasycené uhlov. (% hm.)	Síra (% hm.)	Viskozitní index	Typ oleje
I	pod 90	nad 0,03	80 - 120	rozpouštědlové rafináty
II	nad 90	pod 0,03	80 - 120	hydrokrakové oleje
III	nad 90	pod 0,03	nad 120	hydrokrakové oleje
IV	Polyalfaolefiny - PAO			
V	Ostatní syntetické oleje (estery, polyetery, polyglykoly a další)			

2.2 Aditiva

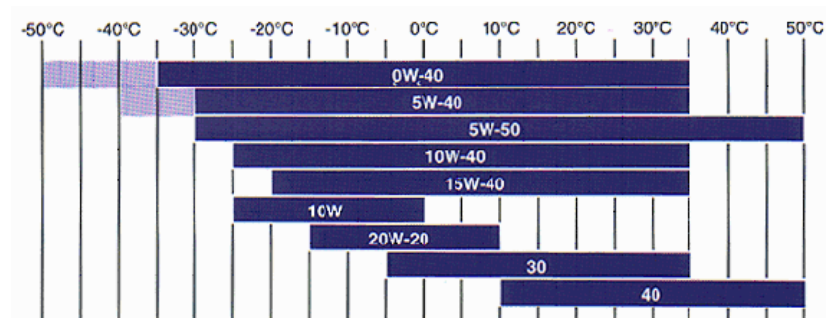
Jsou to chemické přísady, které vylepšují vlastnosti olejů (i plastických maziv). Obsah aditiv v mazivu se pohybuje okolo 1 – 25 %. Druhy aditiv se liší podle způsobu užití maziva. Mezi základní aditiva patří detergenty a disperzanty. **Detergenty** čistí kovové povrchy a uvolňují usazeniny, kaly a karbonové úsady. Oproti tomu **disperzanty** zabraňují shlukování těchto rozpuštěných nečistot, aby nedošlo k zanesení čističe oleje (filtru). Mezi další aditiva patří **zpomalovače stárnutí**, která zpomalují chemickou degradaci maziva a zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin. Aditiva zvyšující **ochranu vůči korozi a oxidaci**, vytvoří na povrchu kovů ochranný film. **Viskozitní stabilizátory** snižují vliv teploty na viskozitu a tím rozšiřují teplotní rozsah použití. **Deaktivátory kovů** zabraňují chemickým reakcím probíhajícím na povrchu miniaturních kovových částic přítomných v mazivu. U mokrých spojek potřebujeme aditiva **upravující tření** na požadovanou hodnotu. U minerálních olejů je vyšší riziko tvorby a shlukování parafinů, proto je třeba je aditivovat a tím **snížit bod tuhnutí**. Pro zachování ideálního mazacího filmu a zabránění kavitačnímu opotřebení je velmi důležité aditivum **proti pění**.

2.3 Rozdělení olejů dle použití

2.3.1 Motorové oleje

U motorových olejů rozdělujeme různé viskozitní specifikace. Před rokem 1990 se oleje rozdělovaly na **zimní třídy** (0W,5W,10W,15W,20W,25W), tyto hodnoty určovaly tzv. startovatelnost motoru při nízkých teplotách, a **letní třídy** (20, 30, 40, 50, 60), které udávají dostatečnou viskozitu i za vysokých teplot. Čím vyšší je číslo, tím vyšší může být teplota při zachování správného mazání motoru.

Nyní ale používáme tzv. **celoroční mazací oleje** zaručující správné mazání i za různých klimatických podmínek. Značíme je kombinací letní a zimní třídy. Zde v tabulce můžeme vidět rozmezí teplot pro náhodně vybrané (nejběžnější) druhy motorových olejů dle SAE.



Obr. 4 - Graf Viskozitní charakteristiky dle SAE - Motorový olej [7]

Typ oleje, který náš motor potřebuje, závisí na jeho konstrukci. Proto existují tzv. normy výrobců motorů a vozidel. Prakticky každá automobilka má své normy na olej (podmínky). Mezi ně spadá i tuzemská značka automobilů Škoda a přebírá normy od VW. (např. VW 505.01 – oleje pro atmosférické a přeplňované motory se vstřikováním Čerpadlo-Tryska).

Další rozdělení je dle výkonnostních tříd. Již zmiňovaná SAE, dále ACEA a API, kde se dělí na benzínové a dieselové spalovací motory. Můžeme také zmínit oleje do dvoutaktních motorů, kde dochází k přímému spalování oleje.

2.3.2 Převodové oleje

Od převodových olejů požadujeme především odolnost vůči nízkým teplotám, antikorozi vlastnosti, nízkou pěnovost, vysokou přínavost a snášenlivost s pryžovými díly. Tím by měla být zaručena dlouhá životnost převodové skříně, nízká hlučnost a snadné řazení. Stejně jako u motorových olejů se převodové oleje dělí dle viskozitního indexu dle SAE, výkonové charakteristiky dle API a normami výrobce.

stupeň SAE	Max. teplota pro	Kinematická viskozita při 100 °C min.	
	dynamickou viskozitu 150 Pas, s (°C)	(mm ² .s ⁻¹)	max. (mm ² .s ⁻¹)
70W	-55	4,1	–
75W	-40	4,1	–
80W	-26	7,0	–
85W	-12	11,0	–
80	–	7,0	< 11
85	–	11,0	< 13,5
90	–	13,5	< 24
140	–	24,0	< 41
250	–	41,0	–

Obr. 5 - Viskozitní třídy převodových olejů dle SAE [7]

2.3.3 Průmyslové oleje

Jsou vyvinuty jak pro práci ve standartních podmínkách, tak i pro práci v náročných režimech provozu s vyššími provozními teplotami, tlaky a i s vyššími požadavky na čistotu olejové náplně. Jsou klasifikovány do viskozitních tříd dle výkonnosti a druhu použití dle ISO, DIN, ČSN. Pod souhrnným názvem průmyslové oleje se rozumí velká skupina mazacích olejů, které se uplatňují v mnoha odvětvích. Například ložiskové oleje, turbínové oleje, kompresorové oleje, průmyslové převodové oleje, hydraulické oleje atd.

Vzhledem k různému použití výše zmiňovaných olejů se použítá aditiva od sebe velmi liší. Nejobvyklejší dělení je dle viskozitní třídy ISO VG, kde udávají střední hodnotu viskozity v $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ při 40 °C. Tato viskozita je většinou obsažena v označení oleje a nachází se na konci obchodního názvu oleje. První písmeno značí zařazení oleje a další udávají zušlechťující přísady nebo blíže specifikují druh použití. Například při vyhledání normy ISO 6743/4 HV zjistíme, že se jedná o hydraulický minerální olej (H) s aditivem pro zlepšení viskózně - teplotních vlastností (V).



Obr. 6 - Průmyslová maziva [9]

2.4 Odběr oleje

Pro zajištění objektivních výsledků tribodiagnostického rozboru je velmi důležitý i odborný odběr vzorku. Odborně odebraný vzorek musí obsahovat průměrné složení použitého maziva ve strojním zařízení. Pro správný odběr vzorku je vypracováno několik základních postupů, které jsou zakotveny v normách ČSN. Mezi nejpřesnější a časově nejnáročnější patří ČSN 65 6207. Odběr vzorku dle této normy se váže pouze na hydraulické kapaliny, u kterých je nutné věnovat zvýšenou pozornost na velikost nečistot a jejich množství.

Všeobecně provádíme odběr do 300 ml vzorkovnic. Stroj či strojní zařízení musí mít provozní teplotu a minimálně 20 minut v běhu, aby došlo k dokonalému promíchání. Poté výpustným ventilem odpustíme 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme jej zpět do zařízení. Tímto se propláchnou odběrné místa a můžeme provést odběr cca 200 – 250 ml oleje. Během odběru je nutné provést předběžnou vizuální prohlídku oleje. Je možno posoudit barvu oleje, přítomnost volné a vázané vody a okem viditelných mechanických nečistot či zápach. Vzorkovnici přesně a čitelně popíšeme a můžeme ji předat ke zkoušce.



Obr. 7 - Sada na odebírání vzorků[10]

3 Tribodiagnostika

Pro tvorbu této kapitoly byly použity zdroje [2,3]

Jedná se o jednu z metod bezdemontážní diagnostiky, která využívá maziva jako média k získání informací o změnách a dějích v technických systémech, ve kterých je mazivo aplikováno. Posláním tribodiagnostiky je zjišťování a vyhodnocování cizích látek v mazivu. A to jak z hlediska kvalitativního, ale také z hlediska kvantitativního. Měření probíhá v odborných laboratořích dle přesných postupů.

3.1 Sledování stavu opotřebení strojních součástí

V praxi se běžně provádí tribodiagnostika na stanovení otěrových kovů v mazivu. Díky těmto informacím jsme schopni detekovat přítomnost vznikající poruchy, lokalizovat danou poruchu a určit tak vadné místo nebo uzel strojního zařízení, tuto poruchu specifikovat, stanovit její příčinu a důvod. Následně můžeme predikovat zbytkovou životnost zařízení, případně naplánovat odstávku, a tím ušetřit nemalé peníze díky nejkratší možné odstávce zařízení a zaručíme maximální bezpečnost provozu stroje a jeho maximální efektivitu.

3.2 Sledování degradace maziva

Neméně důležité jako sledování opotřebení strojních součástí je i sledování degradace samotného maziva. V mazivu, jako v každé látce, probíhá nevratný proces stárnutí a ten je potřeba sledovat. Mezi nejběžnější procesy stárnutí patří změna viskozity. Viskozita se mění například obsahem vnějších nečistot, produktů spalování, nebo obsahem paliva v olejové náplni či obsahem vody, která se do vzorku dostane kondenzací vzdušné vlhkosti. Změna kyselosti oleje může nastat vlivem produktů spalování, nebo vypadávání aditiv.

4 Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů

Pro tvorbu této kapitoly byly použit zdroj [2,3,4,12]

4.1 Metoda RAMO

Metoda RAMO (rychlá analýza motorových olejů) zahrnuje soupravu chemikálií (metylizobutylketon, kyselina dusičná a chlorovodíková), se kterou je možno stanovit částice mědi, železa, hliníku a olova v motorovém oleji. Každá chemikálie má pro každý kov porovnávací vzorky, podle kterých rozeznáme různé koncentrace kovů. Jedná se o jednoduchou metodu, kde obsluhu zvládne i méně kvalifikovaná obsluha.

4.2 Polarografie

Polarografie patří mezi elektrochemické analytické metody. Podstatou měření je zjišťování závislosti proudu na plynule zvětšovaném napětí při elektrolýze mezi elektrodami. V polarografickém spektru se zobrazí každý prvek (látka) jako vlna. Tím určíme přítomnost daného kovu.

4.3 Voltametrie

Je speciální typ polarografické metody, kdy rtuťová kapková elektroda je nahrazena stacionární rtuťovou kapkou a využívá citlivější pulsní polarografii.

4.4 Atomová spektrofotometrie

Jedná se o analytickou metodu zjišťující kvalitativní a kvantitativní složení zkoumaného vzorku oleje rozbořením spektra. Tato metoda je vhodná pro velikost otěrových částic o přibližné velikosti desetiny až desítky mikrometru. Zjednodušeným principem měření je dodání atomům vhodnou formou (chemickou, elektrickou, tepelnou,

elektromagnetickou) energii, která se přemění různými atomickými procesy na energii světelnou.

4.5 Atomová emisní spektrofotometrie (AES)

Zkoumá záření, které vysílají excitované (vzbuzené) atomy. Kvantitativní složení vzorku je dáno počtem a hodnotami charakteristických frekvencí a kvalitativní složení vzorku poměrným rozdělením intenzity záření na tyto frekvence.

4.6 Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS)

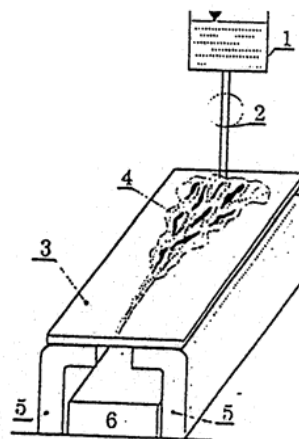
Jedná se o jednu z nejrozšířenějších metod stanovující přítomnost vybraných kovů, nejčastěji však železa, mědi, hliníku a zinku. Měří se zeslabení paprsku při průchodu analytickým prostředím. Během měření dochází k absorpci monochromatického záření měřeným prvkem. Kirchhoffův zákon říká, že prvek nejlépe absorbuje záření o energii takové, kterou sám emituje. Proto zdroj monochromatického záření je tvořen katodou měřeného prvku (zinek, hliník apod.), kdy po dopadu jejích elektronů na anodu se přebytečná energie vyrazí ve formě záření, přičemž toto emitované záření je maximálně absorbováno právě příslušným prvkem (zinek, hliník apod.). Tato metoda je tedy oproti AES znevýhodněna tím, že k analýze daného prvku je potřeba lampa obsahující katodu tohoto daného prvku, neboli pro každý měřený prvek je zapotřebí speciální zdroj záření. Avšak tato metoda je vhodná při měření velmi nízkých koncentrací. Pro sledování atomových spekter je nutné měřený vzorek převést do plynného stavu a to buď vypařováním vzorku z vyhřívané podložky, nebo plamenem.



Obr. 8 - Atomová absorpční spektrofotometrie [12]

4.7 Částicová analýza (ferografie s vyhodnocením)

Základem měření je vytvoření ferografické stopy (tzv. ferogramu) zkoušeného oleje (zředěného) na nakloněnou skleněnou destičku, která se nachází v magnetickém poli. Největší částice se usazují na počátku destičky, dále jsou částice menší a menší.



Obr. 9 - Funkční schéma Ferografu [3]

Legenda: 1 – Nádobka, 2 – Dávkovací zařízení, 3 – ferografická destička, 4 – Olejová stopa s částicemi, 5 – pólové nástavce, 6 - magnet

4.8 Feroskopické vyhodnocení

Spočívá v mikroskopické prohlídce vzorku (ferogramu) při bichromatickém osvětlení. Morfologie částic je závislá na druhu tření a tím podává různé informace o povrchových vrstvách jednotlivých třecích uzlů na strojním zařízení. Druh opotřebení zjistíme dle tvaru částic. Např.: Tenké a dlouhé lineární částečky naznačují abrazivní otěr. Pokud by se jednalo o částečky vločkovitého tvaru, jednalo by se o adhezivní oděr.

- Více informací k částicové analýze naleznete v Experimentální části

5 Metody pro sledování degradace maziv

Pro tvorbu této kapitoly byly použit zdroj [2,3,5,6,7]

Stárnutí maziva je běžný jev vznikající v důsledku reakce se vzdušným kyslíkem, popřípadě nečistotami. Rychlost degradace závisí na chemickém složení paliva, na provozní teplotě a přítomnosti různých látek, které mohou urychlovat, anebo zpomalovat oxidační reakci. Provádíme měření a vyhodnocení parametrů maziva jako jsou například viskozita, bod vzplanutí, kyselost, obsah nečistot, atd. Můžeme určit životnost maziva zjištěním stupně dle znehodnocení. Je možno stanovit optimální intervaly výměny či filtrace olejových náplní

Měření fyzikálně chemických parametrů maziva

Stanovujeme jakost nových maziv při vstupní kontrole a poté v určitých časových intervalech nebo kilometrových průbězích. Díky těmto parametrům můžeme vytvořit průběh degradace maziva a tím dosáhnout hospodárnějšího využití maziva, které bude vyměněno dle skutečného stavu.

5.1 Kinematická viskozita

Viskozita je rozhodující vlastnost maziva v oblasti hydrodynamického tření. Patří k základním ukazatelům při hodnocení vlastností olejů. Kinematická viskozita se dá představit jako odpor kapaliny vůči tečení. U průmyslových olejů je charakteristická závislost viskozity na teplotě. Při změně provozní teploty o pouhý 1°C může dojít ke změně viskozity až o 5 %. K měření viskozity převážně používáme kapilární viskozimetry dle ČSN 65 6216 (Ubbelohde, Pinkevič, Kössler apod.), ale také průtokové, rotační a s padající kuličkou dle Höpplera. Změna viskozity mazacího oleje během provozu ve stroji může probíhat dvěma směry.

Zvyšování viskozity mazacího oleje dochází z důvodů vzniku emulze vznikající při spojení zkondenzované vzdušné vlhkosti a samotného oleje. Dále také je způsobováno meziprodukty oxidační povahy, vlastní oxidací oleje a nečistotami v oleji. Vysoká

viskozita se ve strojním zařízení projevuje velkým koeficientem tření a tím způsobené zvýšené energetické ztráty.

Snižování viskozity je způsobeno mechanickou a tepelnou degradací oleje a tím dochází k tzv. vypadávání aditiv. Například u motorových olejů vniknutím paliva do olejové náplně. Pokud by byla viskozita příliš nízká, docházelo by k místnímu až suchému tření. Důsledkem tohoto tření by mohlo dojít k nadměrnému opotřebení až k úplnému zadření třecích ploch a tím i k zastavení stroje.

5.1.1 Měření viskozity kapilárním viskozimetrem dle Ubbelohde

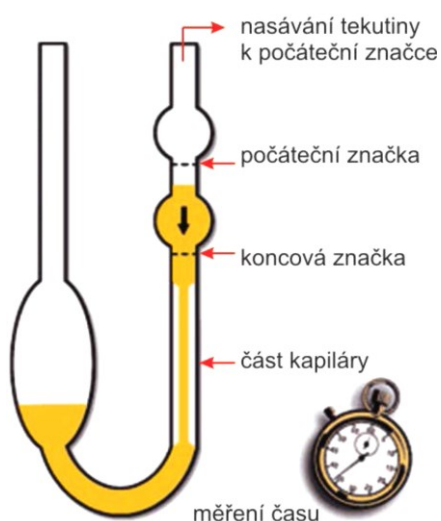
Dodanou pumpičkou nasajeme měřený olej (při teplotě 40 °C nebo 100 °C) na počáteční značku a spustíme stopky. Při dosažení hladiny na koncovou značku stopky vypneme. Toto měření provedeme minimálně 5 krát (ideálně však 10 krát). Z naměřených hodnot vypočítáme aritmetický průměr doby průtoku viskozimetrem a použijeme jej do vzorce.

$$\nu = C \cdot \tau \quad [mm^2 \cdot s^{-1}]$$

Kde: νhodnota kinematické viskozity

Ckonstanta viskozimetru

τaritmetický průměr doby průtoku viskozimetru [s]



Obr. 10 - Měření viskozity[2]

5.2 Bod vzplanutí

Bod vzplanutí je nejnižší teplota, při které vzniká nad temperovaným olejem směs plynů, která při přiblížení plaménku vzplane a opět zhasne. Jedná se o velmi důležitý jakostní a bezpečnostní ukazatel. U nových maziv je bod vzplanutí nejvyšší, při použití maziva tento bod klesá z důvodu vyššího obsahu zředujících a hořlavých látek. U motorových olejů je bod vzplanutí mezi 190–235 °C. Tato zkouška se provádí v tmavém místě bez průvanu (laboratorní digestoř), kde bude dobře viditelný počátek vzplanutí.

5.2.1 Měření v uzavřeném kelímku dle ČSN 65 6065

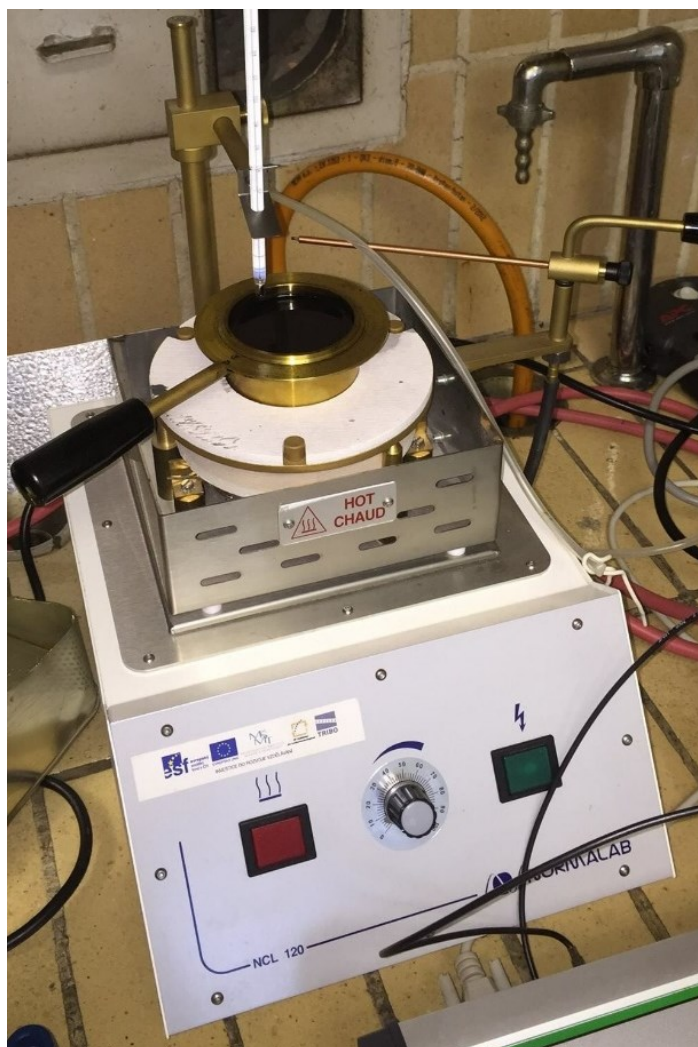
Jedná se o přesnější měření než v otevřeném kelímku. Nejvíce se používá u kapalin s předpokládaným bodem vzplanutí do 100 °C. Ale díky moderním optickým snímačům můžeme měřit kapaliny i s bodem vzplanutí až do 400 °C. Například Herzog OptiFlash (podle Pensky Martense) s rozsahem měření od 30 až po 400 °C se zabudovaným detektorem plamene a v případě poruchy i samo hasicím systémem. Je možno měřit bionaftu, chemikálie, rozpouštědla.



Obr. 11 - Měření v uzavřeném kelímku [5]

5.2.2 Měření v otevřeném kelímku dle ČSN 65 6212

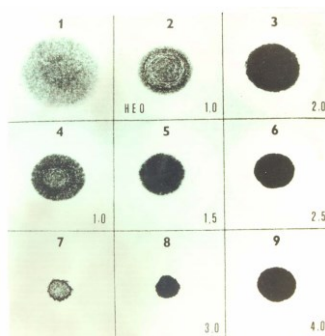
Vzorek motorového oleje (100 ml) ohřejeme v otevřeném kelímku přibližně na 170 °C a poté při pomalém zvyšování teploty nad hladinou pohybujeme plamínkem. V momentě kdy zahlédneme vzplanutí a zhasnutí plamínku, tak si zaznamenáme teplotu oleje. Tato teplota se nazývá bod vzplanutí. Pokud by plamínek hořel déle než 5 vteřin, jedná se o bod hoření. Nové motorové oleje mají nízkou výparnost a tím i poměrně vysoký bod vzplanutí pohybující se v rozmezí 230-240 °C. Tato metoda se převážně používá pro analýzu olejů vznětových motorů, kde se považuje spodní hranice bodu vzplanutí okolo 180-190 °C.



Obr. 12 - Bod vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda

5.3 Kapková zkouška

Jedná se o jednoduchou orientační metodu pro zjištění stupně znečištění oleje. Na vypnutý filtrační papír kápneme zhomogenizovaný vzorek oleje a vizuálně zkoumáme stopu. Sledujeme tmavost, rozsah a strukturu vsáklé kapky do papíru a porovnáme jej se stupnicí. Tento test je opravdu pouze orientační a rozhodně nezastupuje jiné laboratorní diagnostické metody.



Obr. 13 - Příklady olejových skvrn [3]

5.4 Obsah vody

Dalším nežádoucím prvkem v mazivu je obsah vody. Do strojního zařízení se může voda dostat poruchou stroje, nebo kondenzací vzdušné vlhkosti. Maximální povolené množství vody je 0,2 % olejové náplně. S rostoucím obsahem vody dochází k degradaci aditiv, pění, tvorbě kalů, emulzí, zvyšování viskozity a v neposlední řadě také ke korozi součástí.



Obr. 14 - Tvorba emulze na víčku nalévacího otvoru motoru

5.4.1 Vizuální zkouška

Jedná se o orientační zkoušku, u které jsou potřeba zkušenosti pracovníka. Správně odebraný vzorek se důkladně promíchá. Pokud je ve vzorku obsažena voda, dojde k zakalení vzorku. Pokud se barva vzorku nezmění, tak je obsah vody zanedbatelný.

5.4.2 Prskací zkouška

Na rozežhátou zkušební plochu (cca 180 °C) kápneme dokonale homogenizovaný vzorek oleje. Olej se po ploše rozlévá do šířky, pokud neobsahuje vodu, nic se nemění. Spodní hranice rozlišitelnosti je obsah vody 0,02 %, kdy by bylo možno zahlédnout pár mikrobublinek. Při obsahu vody okolo 0,1 % by bylo možno zahlédnout drobné bublinky o velikost 0,5 mm po dobu 1-2 vteřiny. Bublínky o velikosti kolem 1mm bychom zahlédli při obsahu vody 0,2 % a to po dobu 3 vteřin.

5.4.3 Coulometrická titrační metoda dle Karla Fišera ČSN EN ISO 12937

Jedná se o přesnou metodu k určení stopových množství vody. Během titrace se průchodem proudu uvolňuje jód J_2 . Jeden mol vody reaguje s molem jódu, takže 1 mg vody je ekvivalentní náboji 10,71 A.s. Po zreagování veškerého obsahu vody v nádobce je indikována koncentrace nadbytečného jódu v nádobce. Tato metoda je plně automatizovaná a tím i uživatelsky velmi přívětivá.



Obr. 15 - Coulometr Metrohm [6]

5.4.4 Destilační zkouška dle ČSN 65 6062

Jedná se o kvantitativní stanovení obsahu vody v oleji (od 0,02 %). Provádí se destilace s rozpouštědlem (např. xylenem). Ale tato metoda je méně rozšířená než měření obsahu vody Coulometrem a to z důvodu menší přesnosti měření.

5.5 Číslo kyselosti a alkality

Během provozu stroje vznikají v mazivu nižší a vyšší organické kyseliny. U spalovacích motorů vznikají jako produkt spalování kyseliny minerální. Tyto minerální kyseliny působí korozivně a způsobují chemické opotřebení, proto je považujeme za nežádoucí. Zvýšená kyselost maziva poškozuje pryžová těsnění, hadice a může také měnit viskozitu.

5.5.1 TBN (Total Base Number) – Číslo celkové alkality

Číslo celkové alkality (mg KOH.g^{-1}) udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem mg hydroxidu draselného, které je třeba k neutralizaci všech zásaditých složek, přítomných v 1 g vzorku oleje. Čím je TBN oleje vyšší, tím déle vydrží olej neutralizovat kyselé látky.

5.5.2 TAN (Total Acid Number) – Číslo celkové kyselosti

Číslo celkové kyselosti vyjadřuje množství slabě i silně kyselých látek v oleji. TAN je definováno jako množství KOH v mg spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje.

5.5.3 Měření TAN a TBN

Obě hodnoty se měří titrační metodou. Pro stanovení TAN je ke vzorku oleje rozpuštěného v neutrálním rozpouštědle po kapkách přidáván roztok hydroxidu draselného

a sleduje se okamžik, kdy olej přestane vykazovat kyselé vlastnosti a převáží naopak alkalické vlastnosti díky přidanému hydroxidu. Tento okamžik je možné detekovat různými způsoby. Nejstarší způsob je detekce podle barevného indikátoru, který se rozpustí ve vzorku oleje a při přechodu z kyselého do alkalického prostředí indikátor změni barvu. Tento způsob je však nevýhodný u použitých olejů, protože díky jejich tmavé barvě lze jen velmi těžko určit změnu barvy indikátoru. Novější metody jsou proto založeny na detekci některých elektrochemických vlastností oleje, nejčastěji jde o tzv. potenciometrickou titraci. Z množství přidaného hydroxidu se určí hodnota TAN. S měřením TBN je to velmi podobné.



Obr. 16 - Automatický titrátor pro stanovení TAN a TBN [7]

5.6 Conradsonův karbonizační zbytek (CCT)

Conradsonův karbonizační zbytek vyjadřuje náchylnost k tvorbě uhlíkatých zbytků za vysokých teplot. Jedná se o hmotnostní podíl zbytku v % hmotnosti, který vznikne termickým rozkladem produktu bez přístupu vzduchu za podmínek předepsaných normou ČSN 65 6210. Vysoká hodnota CCT při provozu charakterizuje zvýšenou tvorbu úsad. Tento problém se objevuje například na pístních kroužcích spalovacích motorů. Podstata měření je tepelný rozklad ropného výrobku bez přístupu vzduchu, žíhání zbytku a

následné stanovení získaného karbonizačního zbytku. V dnešní době je tento test plně automatizován. Jediná práce obsluhy je zvážit vzorek před a po testu a nastavit teplotní program.



Obr. 17 - Alcor : MCRT-160 P [5]

5.7 Stanovení popela

Stanovení popela provádíme u produktů z ropy. U plastických maziv s obsahem grafitu, síry a MoS_2 a také u maziv ve kterých jsou popelotvorné látky nežádoucí. Princip metody je spalování vzorku a žíhání uhlíkatého zbytku do konstantní hmotnosti dle ČSN 65 6063.

6 Experimentální část

V této kapitole byly použity zdroje [11,13,14]

V experimentální části se zabýváme měřením kódu čistoty a morfologie částic různými metodami a přístroji, jejich vzájemné porovnání a zhodnocení. Pro objektivní měření jsme použili 10 vzorků použitého hydraulického oleje ISO VG 46, který byl provozován na blíže nespecifikovaných lisech. Odborný odběr vzorku byl proveden pracovníky KOMA Commercial s.r.o

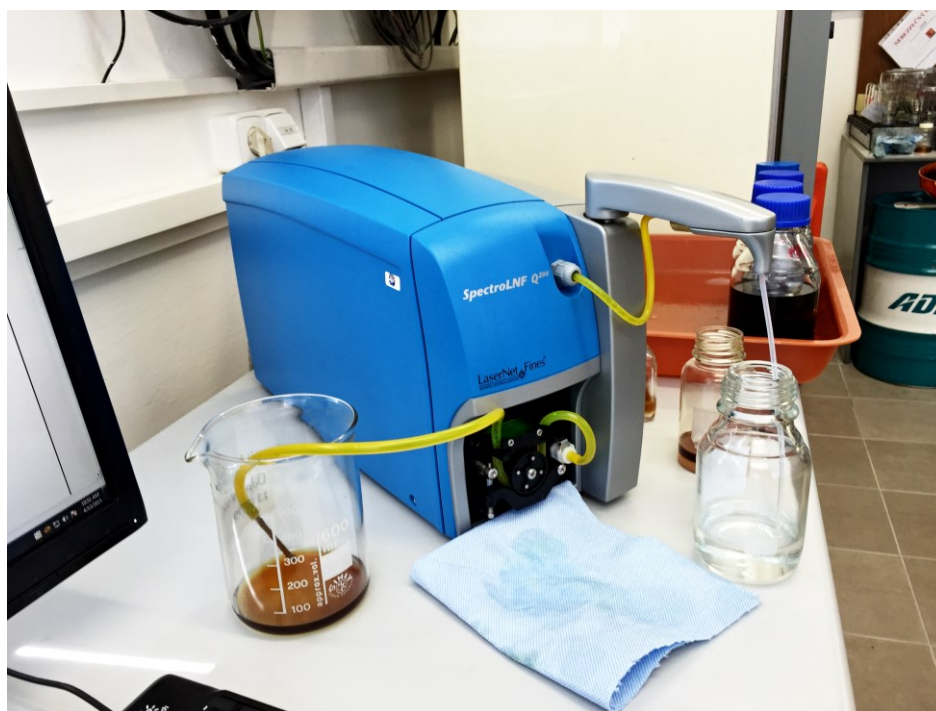
Každý vzorek byl změřen na laserovém analyzátoru částic SpectroLNF Q200 v laboratořích firmy KOMA Commercial s.r.o. Výstupy z těchto měření (viz příloha) byly zpracovány a následně porovnány s měřením probíhajícím v laboratořích Technické diagnostiky na VŠB – TUO. K porovnání hodnot kódu čistoty byl použit laserový čítač částic Parker Laser CM a tlakový laboratorní přístroj Diagnostics ENTEK IRD. Morfologii částic jsme porovnávali ferografií s vyhodnocením a zkoumáním filtračních papírků (mikroskopem) z gravimetrie.



Obr. 18 - Vzorky olejů

6.1 SpectroLNF Q200

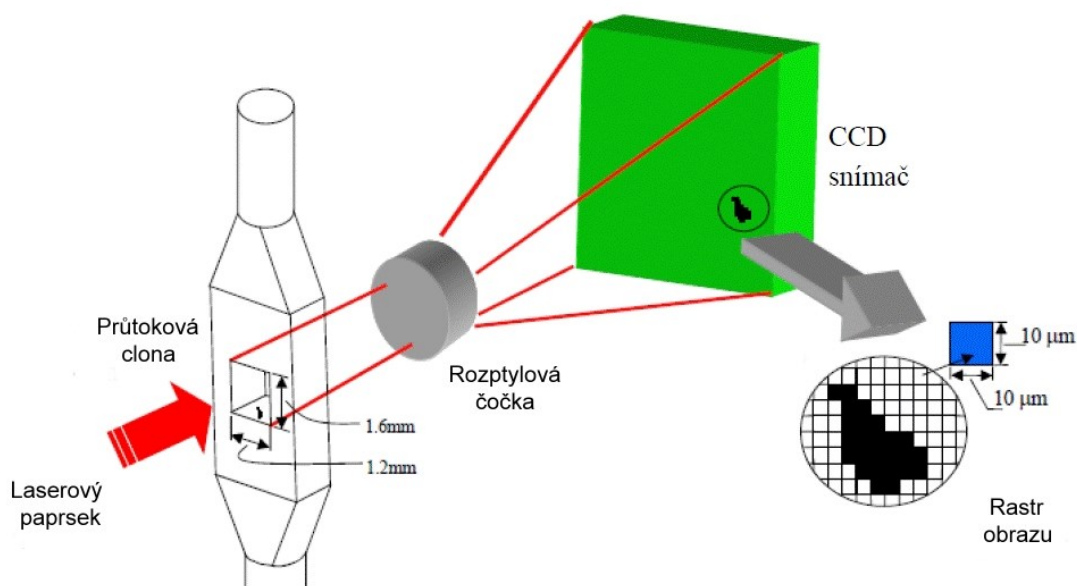
Jedná se analyzátor velikosti a klasifikátor tvarů částic. Využívá laserové zobrazovací techniky a pokročilý software pro zpracování obrazu k identifikaci typu, rychlosti produkce a vážnosti mechanických vad měřením, dále míry růstu a tvarů otěrových úlomků a částí v mazacích olejích. Vyhodnocení probíhá v softwaru na základě morfologické analýzy a rozdělení velikosti částic opotřebení (hodnotí se největší rozměr částice a průměr ekvivalentního kruhu, tj. průměr kruhu, který má stejnou plochu jako je plocha snímané částice). SpectroLNF Q200 dokáže analyzovat a určit tvar částic a s vysokou přesností i vypočítat jejich počet o velikosti minimálně $4\text{ }\mu\text{m}$ a maximálně $100\text{ }\mu\text{m}$ v 1 ml testovaného oleje. Používá pro hydraulické a motorové oleje. Výstupní data jsou zobrazeny v počítači v přiloženém software a obsahují typ částice, mapy obrazů, kódy čistoty dle ISO 4406 (1999) pro částice do $4,6$ a $14\text{ }\mu\text{m}$, NAS, NAVAIR a analýzu viskozity. Toto měření jsme provedli na všech 10-ti vzorcích olejů a originální vytištěné výstupy jsou vloženy v příloze. V diplomové práci byly tyto hodnoty a tvary částic zkoumány a dále porovnávány s ostatními metodami a postupy naměřenými v laboratořích Technické diagnostiky na VŠB-TUO.



Obr. 19 – SpectroLNF Q200

6.1.1 Princip měření

Vzorek oleje se nechá protékat zobrazovací clonou, která je prosvětlována laserovou diodou. Toto záření je snímáno kamerovým snímačem typu CCD. Částice obsažené v oleji nepropouštějí světlo, proto je jejich velikost a tvar zachycen na již zmiňovaném CCD snímáči jako stín. Tyto obrazy snímáné kamerou se přes rozhraní USB přenáší do počítače rychlostí 30 snímků za vteřinu. Celkový počet snímků vychází na 3500 z 0,65 ml vzorku. V každém snímku je softwarově spočítán počet objektů. Tyto výsledky statistického hodnocení objektů se uloží ve formě bitmapového obrazu s hlavním rozměrem přesahujícím 20 μm z důvodu minimální zobrazovací schopnosti 10-ti pixelů. Nasnímané obrazy se uloží a jsou k nahlédnutí v prohlížeči částic jako rastr.

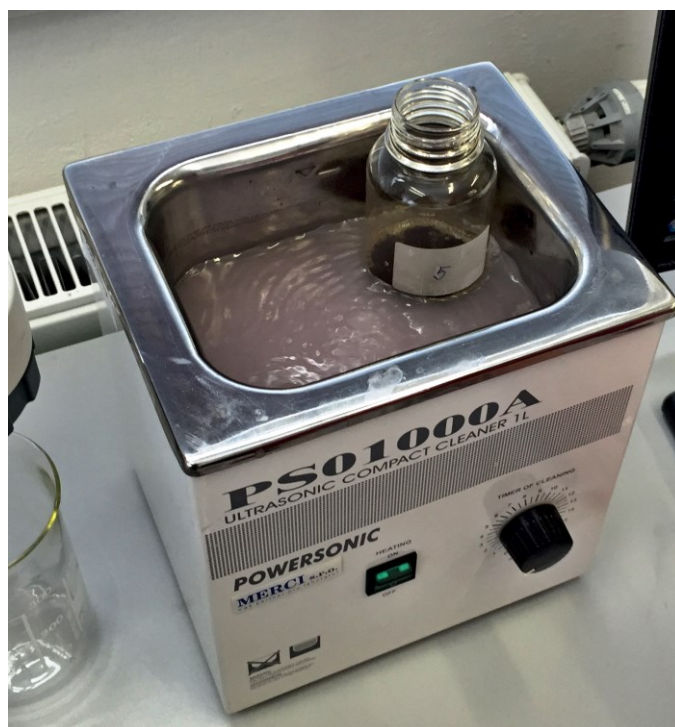


Obr. 20 - Princip činnosti SpectroLNF

6.1.2 Postup měření

- 1) Před vlastním měřením je nutné vzorek oleje důkladně protřepat, čímž se homogenizuje. Tím zaručíme dokonalé rozptýlení sedimentovaných částic v oleji.
- 2) Po homogenizaci je nutné odstranit všechny vzduchové bubliny, které vznikly třepáním. To dosáhneme použitím ultrazvukové lázně.
- 3) Zapneme si hlavním vypínačem SpectroLNF Q200 a spustíme aplikaci Spectro Scientific LaserNet Fines v PC.

- 4) Zasuňme nasávací hadičku do lahvičky se vzorkem a stiskneme **Start test**.
- 5) Software se nás zeptá, jak si chceme vzorek pojmenovat. Pokud se jedná o ředěný vzorek, je nutné zadat faktor ředění. Zvolíme, jestli se jedná o motorový či hydraulický olej. V posledním políčku můžeme zadat hustotu oleje, pouze pokud chceme změřit kinematickou a dynamickou viskozitu.
- 6) Zadáme laboratorní číslo a stiskem **OK** se spustí analýza. Po přibližně 2 minutách je analýza hotová.
- 7) Vytáhneme nasávací hadičku z nádoby se vzorkem, otřeme ji a vzorek odstavíme.
- 8) Pro vyčištění diagnostického systému vložíme nádobku s ředidlem Electron-22 (minimálně 50 ml) a stiskneme **Continue**.
- 9) Po dokončení průplachu se zobrazí obrazovka s výsledky, které si můžeme vytisknout.
- 10) Na výsledkové listině nalezneme popis vzorku a zařízení z čeho byl testovaný olej a popřípadě další informace. Nechybí zde i kód čistoty dle ISO 4406, NAS 1638, NAVAIR 01-1A-17. Ale také velikosti nečistot a jejich počet včetně jeho zařazení. Například řezné, kluzné, únavové částice a vlákna.



Obr. 21 – Ultrazvuková lázeň PS01000A

6.2 Laserový čítač častic PARKER LASER CM

Laserový čítač častic Parker LASER CM umožňuje analyzovat častice opotřebování v pracovních kapalinách strojů a jejich kvalifikaci do různých tříd podle velikosti a druhu opotřebování v krátkém čase se závěrem o kódu čistoty. Je vybaven mikroprocesorem, který ovládá skenování pro přesné měření znečištění v kalibračním rozsahu ISO7 až ISO22 bez počítadla nasycení. Výsledek měření se zobrazuje na příručním ovladači s přehledným LCD displejem.

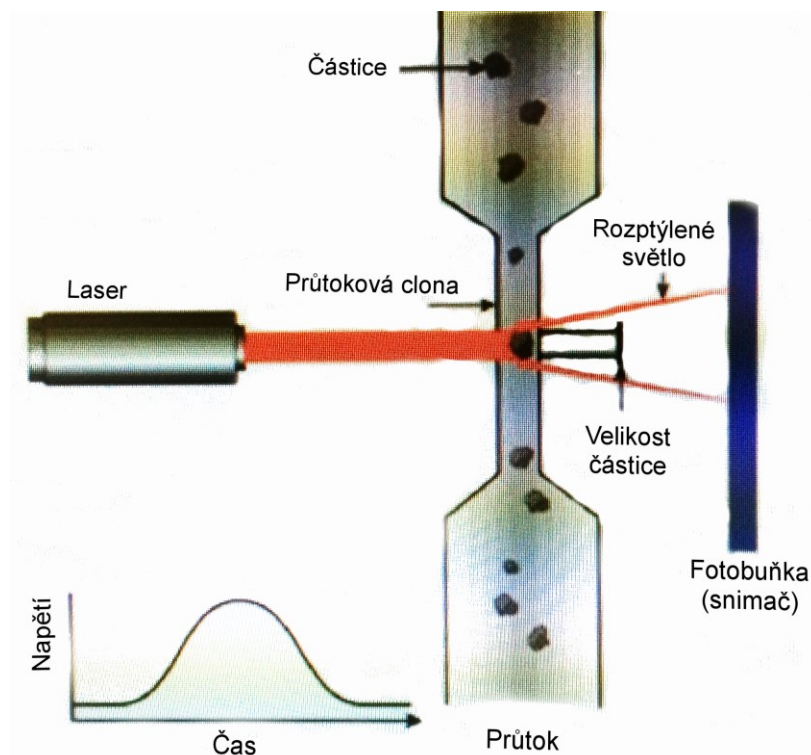


Obr. 22 - Laserový čítač častic Parker LASER CM

6.2.1 Princip měření

Princip měření je velmi podobný jako u SpectroLNF Q200, jen není možné zobrazit tvar a o jaký typ opotřebování se jedná. Pouze počet a velikost častic. Častice se měří fotodiodou, která převádí intenzitu světla na napěťový výstup, který je zaznamenán v čase. Paprsek laseru se pohybuje jako častice přes okénko průtokové clony, kde ozařuje nečistotu a ta vytváří stín. Čím větší je velikost častic, tím je menší množství dopadajícího

laserového světla na fotodiodu a tím i napětí. Toto snížení napětí je měřeno a zaznamenáno.



Obr. 23 - Princip měření na Parker LaserCM

Výsledky měření jsou zobrazované na příručním ovladači s LCD displejem. Proto můžeme provádět měření kdekoliv nezávisle na počítačovém vybavení. Přístroj má paměť na 300 měření a má vlastní jehličkovou tiskárnu pro rychlé zveřejnění výsledku měření.

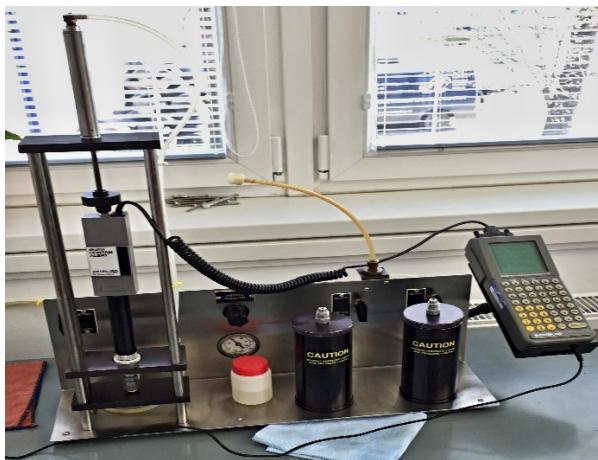
6.2.2 Postup měření

- 1) Měřený vzorek dobře promícháme, ať dokonale rozptýlíme sedimentované částice ve vzorku.
- 2) Po 5-ti minutách míchání vložíme vzorek do ultrazvukové lázně, abychom se zbavili bublin a měření bylo přesné.

- 3) Vložíme sací hadičku do nádoby se vzorkem a zapneme čerpadlo. Během minuty nám začne vytékat olej do přepadové nádobky. To značí, že měřicí systém je odvzdušněn.
- 4) Na příručním ovladači stiskneme a podržíme tlačítko Šipky vlevo a tím aktivujeme kontrolu viskozity kapaliny. Pokud je výsledek v pořádku zobrazí se na displeji nápis **Good**. Pokud by test vyšel špatně, zobrazilo by se na displeji **Bad** a bylo by nutné vzorek vhodným rozpouštědlem zředit. Poté test viskozity zopakovat.
- 5) Po úspěšném testu viskozity otočíme modrým kruhovým ovladačem na těle přístroje. Probíhá analýza.
- 6) Průběh analýzy lze sledovat na displeji formou grafu. Po cca 90 vteřinách je měření vzorku hotovo a výsledky se zobrazují na příručním displeji. Výsledky je možno buď vytisknout integrovanou jehličkovou tiskárnou, nebo poslat do osobního počítače pomocí RS232.

6.3 Tlakový laboratorní přístroj Diagnostics ENTEK IRD

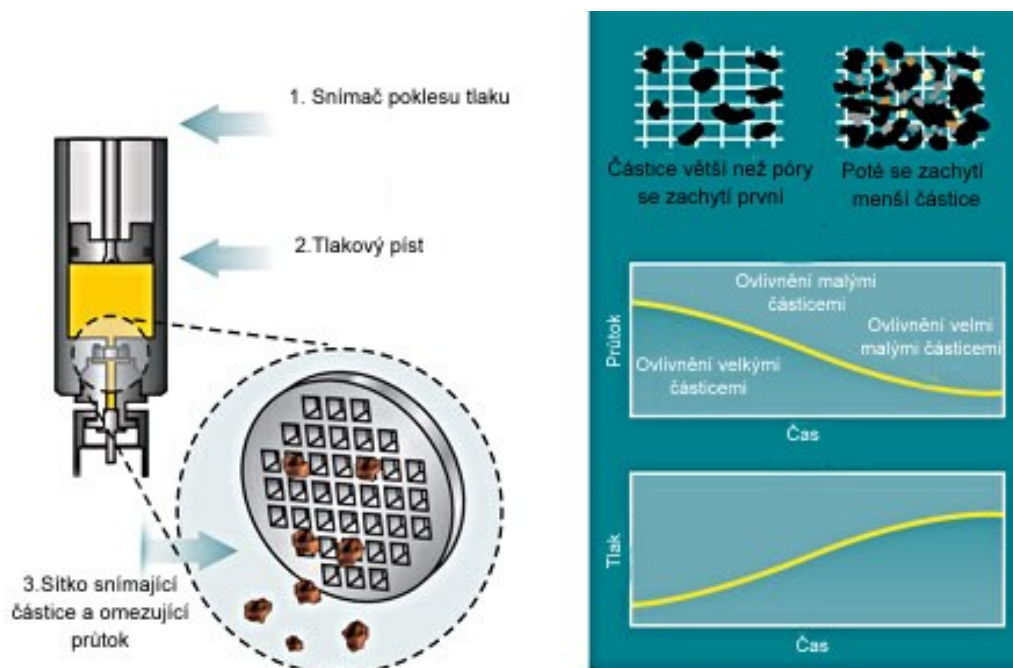
Jedná se o jednu z nejstarších metod měření kódu čistoty. Měření na přístroji Diagnostics ENTEK IRD jsme prováděli v laboratoři firmy KOMA Commercial s.r.o. Výsledkem měření je počet částic o velikostech (od 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 μm) a také měření kódu čistoty dle ČSN ISO 4406 (1999), NAVAIR a podobně. Výsledky měření jsou zobrazeny na příručním ovladači.



Obr. 24 - Diagnostics

6.3.1 Princip měření

Základní princip měření je porovnání tlaku před i za speciálním sítkem. Toto sítko s přesnými otvory nejprve zachytí největší částice, poté menší a menší. Tím se snižuje průtok oleje a stoupá tlak před sítkem. Z těchto parametrů dokáže interní software spočítat a zobrazit kód čistoty.



Obr. 25 - Princip měření Diagnostics

6.3.2 Postup měření

- 1) Zapneme přístroj a kompresor.
- 2) Otevřeme pravou měřicí nádobku a nalejeme do ní 100ml vzorku.
- 3) Zavřeme nádobku se vzorkem a natlakujeme ji ventilem nacházejícím se nad nádobkou. Dodávaný tlak by se měl pohybovat mezi 80 a 120 PSI.
- 4) Na příručním ovladači vybereme typ oleje a vybereme kolonku start test.
- 5) Na levé straně přístroje nám pneumatická pístnice stlačí měřicí zařízení a to poté vyjmeme a přišroubujeme k přírubě měřicí nádobky.
- 6) Probíhá měření.
- 7) Až se pístnice vrátí do původní polohy, je měření ukončeno.
- 8) Na příručním ovladači se zobrazí výsledek měření

6.4 Částicová analýza – Ferografie s vyhodnocením

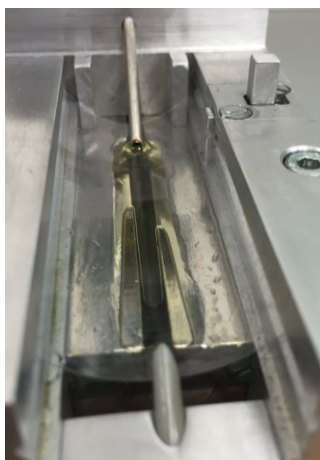
Tato metoda spočívá v separaci magnetických a paramagnetických otěrových částic ze vzorku oleje. Ze stékajícího vzorku oleje po nakloněné skleněné destičce v magnetickém poli odseparují magnetické a paramagnetické částice. Od největších po nejmenší. Poté se ferografická stopa zkoumá mikroskopem při bichromatickém osvětlení. Mikroskopem je také možno měřit morfologii částic a následně zhodnotit o jaký otěr se jedná. Např.: Tenké a dlouhé lineární částečky naznačují abrazivní otěr. Pokud by se jednalo o částečky vločkovitého tvaru, jednalo by se o adhezivní oděr.



Obr. 26 - Ferograf REO1

6.4.1 Postup měření

- 1) Vzorek oleje dobře promícháme, aby se částice ve vzorku rozptýlily a vznikl dokonale homogenizovaný vzorek.
- 2) Injekční stříkačku naplníme 4 ml oleje a 1ml technického benzínu, promícháme a vložíme jí do ferografu.
- 3) Vložíme do drážek speciální ferografické sklíčko a přisuneme ke spodnímu okraji odpadní trubičky.
- 4) Na injekční stříkačku nasuneme hadičku se speciální zkosenou trubičkou. Vzdálenost mezi sklíčkem a zkosenou trubičkou má být v ideálním případě 0.5mm. Vzorek oleje na sklo nesmí kapat, ale zároveň se jej nesmí dotýkat.
- 5) Stiskneme na ferografu tlačítko se symbolem šipky směřující směrem dolů a injekční stříkačka se začne stlačovat.
- 6) Po stlačení zmáčkneme tlačítko s šipkou nahoru a můžeme demontovat injekční stříkačku z ferografu.
- 7) Injekční stříkačku důkladně očistíme technickým benzínem a nasajeme 5 ml technického benzínu.
- 8) Naplněnou injekční stříkačku vložíme zpět do ferografu a nastavíme správnou výšku trubičky od sklíčka a stiskneme tlačítko šipka dolů.
- 9) Po stlačení injekční stříkačky s technickým benzínem se nám vyčistilo ferografické sklíčko od mastnoty a zbyly na skle jen magnetické a paramagnetické částice.
- 10) Po 10 minutách můžeme sklíčko (ferogram) vyjmout a zkoumat na mikroskopu morfologii částic.



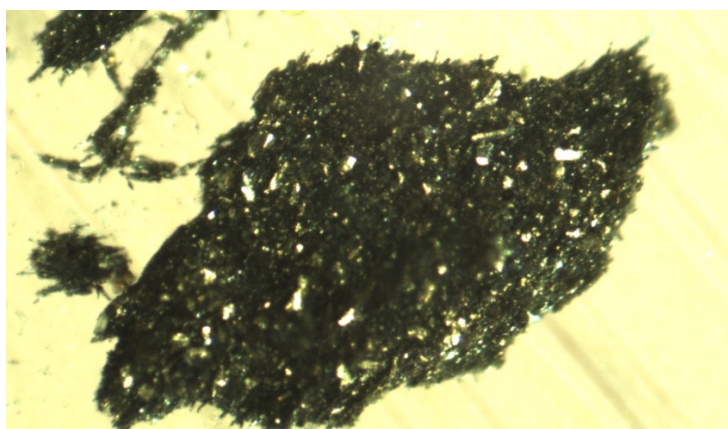
Obr. 27 - Ferogram

6.4.2 Vyhodnocení morfologie mikroskopem

K posouzení morfologie částic z ferogramu jsme použili laboratorní mikroskop s CCD kamerou k přenosu obrazu do PC. Mikroskop je osazen objektivy s hodnotami zvětšení 4x, 10x, 25x a 40x. A snímací kamera má rozlišení 2MP. Hlavním místem našeho sledování byla vtoková oblast, kde se obvykle nacházejí největší částice. Na ferogramu se mohou kdekoliv náhodně usadit paramagnetické částice (Mn, Al, Cr, Pt), diamagnetické (Cu, Ag) nebo nemagnetické částice jako je mosaz, organické látky nebo různá vlákna. Jejich rozlišení bývá obtížné a proto je třeba sledovaný vzorek z různých úhlů i nasvětlit. Občasně se objevují i shluky částic, které mohou zachycovat nemagnetické částice a tvořit nepravidelné obrazce. Během měření jsme několik shluků našli.

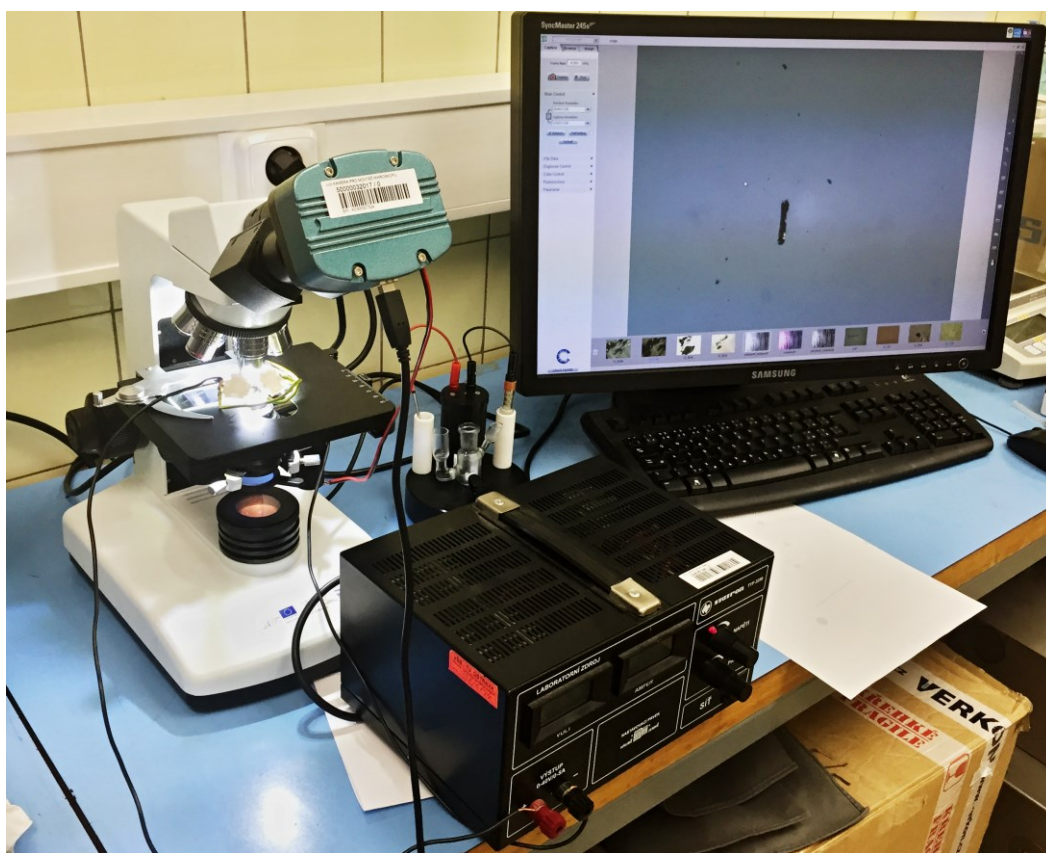
Rozlišení materiálu částic:

- **železné částice** identifikujeme jako černé částice a při nasvětlení jde zaznamenat občasný odraz, jejich směr bývá ve směru siločar magnetického pole (na obrazovce vertikálně)
- **neželezné kovy (chrom, hliník)**, se jeví jako bílé částice
- **ložiskové kovy (olovo a cín)** jsou viditelné jako šedé tečky
- **měděné částice** svým žluto-oranžovým odrazem
- **prachové částice** se jeví jako průsvitné krystaly
- **vlákna** jsou průsvitná a roztřepená



Obr. 28 - Shluk neželezných částic

Po odhadnutí materiálu částice je potřeba vyhodnotit velikost a tvar částice. Velikost částice určujeme podle objektivového mikrometru. Částice větší než 30 μm indikují, že se jedná o abnormální opotřebení. Tvar otěrových částic je velmi důležitý pro určení místa opotřebení. Každý druh opotřebení je zdrojem otěrových částic charakteristických tvarů a rozměrů. K porovnání různých typů otěrových částic jsme použili publikaci Atlas otěrových částic pro ferografii [11].



Obr. 29 - Vyhodnocování ferogramu mikroskopem

Snímky částic z ferogramů jsme porovnávali s analyzátozem částic Spectro LNF Q200.

6.5 Gravimetrické stanovení nečistot

Tato metoda se používá pro kapalné ropné výrobky, nejčastěji pro hodnocení obsahu nečistot v motorové naftě. Proto je nutné při měření hydraulických a motorových olejů dostatečně ředit. K ředění vzorku používáme lékařský benzín. V poměru 25 ml hydraulického oleje a 100 ml lékařského benzínu. Tento vzorek přefiltrujeme předem připraveným, dokonale vysušeným a zváženým papírovým filtračním papírem o velikosti pórů 0,8 µm. Pro rychlejší přefiltrování používáme Erlen Meyerovu baňku s výstupem na vývěvu, která v baňce vytvoří podtlak. Po přefiltrování vyjmeme filtrační papír, položíme na Petriho misku a vložíme jej do sušárny Ecocell na 105 °C po dobu 2 hodin a na 30 minut do exsikátoru. Poté vzorek zvážíme na přesné digitální váze Kern a zapíšeme si přesnou hmotnost. Zvážený vzorek vložíme zpět do sušárny na totožnou teplotu, ale pouze po dobu 30 minut a následně do exsikátoru také na 30 minut. Poté vzorek zvážíme, a pokud je rozdíl hmotností větší než 0,4 mg, tak tento proces opakujeme do doby, než bude vzorek opravdu důkladně vysušený. Poté porovnáme hodnoty nového vyčištěného a vysušeného filtru s posledním měřením a pomocí jednoduchého vzorce vypočítáme hmotnost nečistot na 100 ml oleje. Tento výsledek je pouze k přibližnému porovnání s kódem čistoty. Čím vyšší je kód čistoty (více znečištěný) tím by měla vyjít i vyšší hmotnost nečistot.

$$\frac{M_2 - M_1}{V} \cdot 100 \quad [\text{g}/100\text{ml}]$$

kde:

M₂ hmotnost použitého filtru [g]

M₁ hmotnost nového, očištěného a vysušeného filtru [g]

V objem oleje [ml]



Obr. 30 - Filtrační papír po filtraci vzorku č. 5

6.5.1 Postup měření

- 1) Nové filtrační papíry očistíme lékařským benzinem a dáme je sušit do sušárny na Petriho misku na 2 hodiny.
- 2) Po 2 hodinách vložíme vzorek na 30 minut do exsikátoru.
- 3) Vzorek zvážíme včetně Petriho misky a proces sušení s exsikátorem opakujeme tak dlouho, dokud jsou rozdíly hmotností větší než 0,4 mg.
- 4) Vysušený filtr opatrně vložíme do nerezové filtrační nálevky a zajistíme ji.
- 5) Do nálevky nalejeme 25 ml hydraulického oleje a 100 ml lékařského benzínu a přiklopíme víčkem.
- 6) Zapneme vývěvu a vidíme, jak se postupně náš naředěný vzorek filtruje.
- 7) Po filtraci očistíme stříčkou nálevku a vypneme vývěvu.
- 8) Filtr opatrně vyjmeme pomocí pinzety a vložíme jej do Petriho misky.
- 9) Petriho misku vložíme do předem vyhřáté sušárny o teplotě 105 °C a vzorek necháme asi 2 hodiny sušit.
- 10) Poté vzorek vyjmeme a vložíme jej do exsikátoru na 30 min a následně zvážíme a zapíšeme si hodnotu.
- 11) Tento postup „30min sušárna a 30 min exsikátor“ opakujeme tak dlouho, dokud rozdíly hmotnosti nebudou menší než 0,4 mg. Poté považujeme vzorek za již důkladně vysušený.
- 12) Pomocí vzorce vypočítáme procentuální obsah nečistot.
- 13) Tento postup opakujeme pro všech 10 vzorků.



Obr. 31 – Gravimetrie

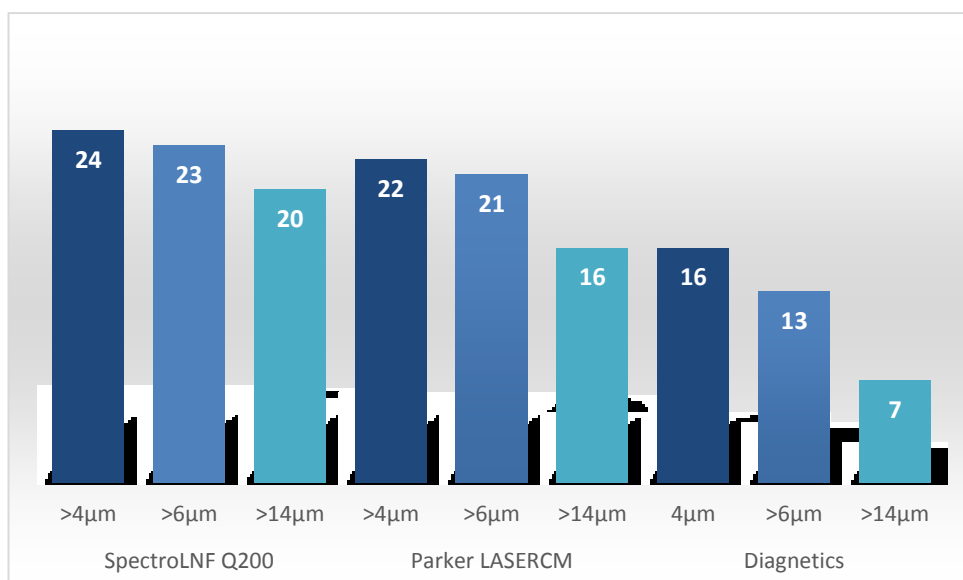
7 Porovnání vzorků

7.1 Vzorek č. 5

Kód čistoty

Tab. 1 - Kód čistoty pro vzorek č. 5 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	24/23/20	22/21/16	16/13/7



Graf. 1 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 5

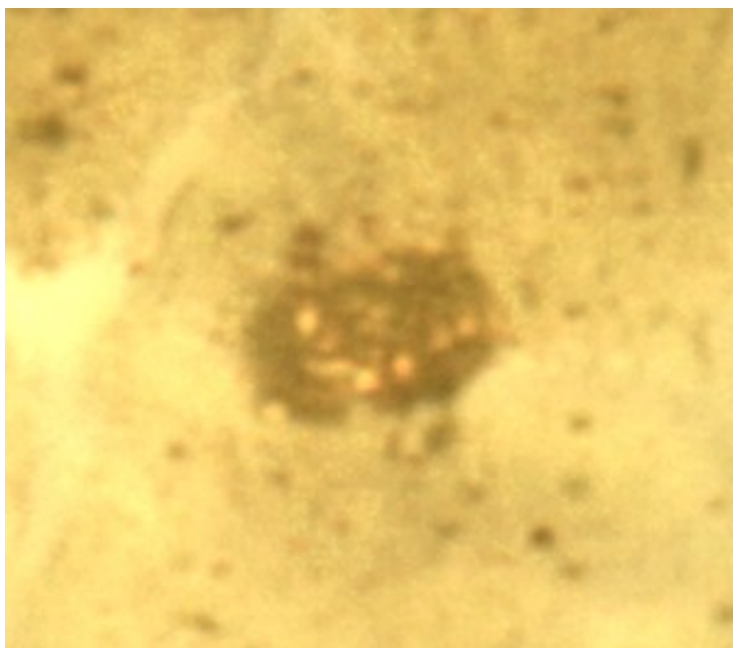
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 104,4 mg/100ml vzorku

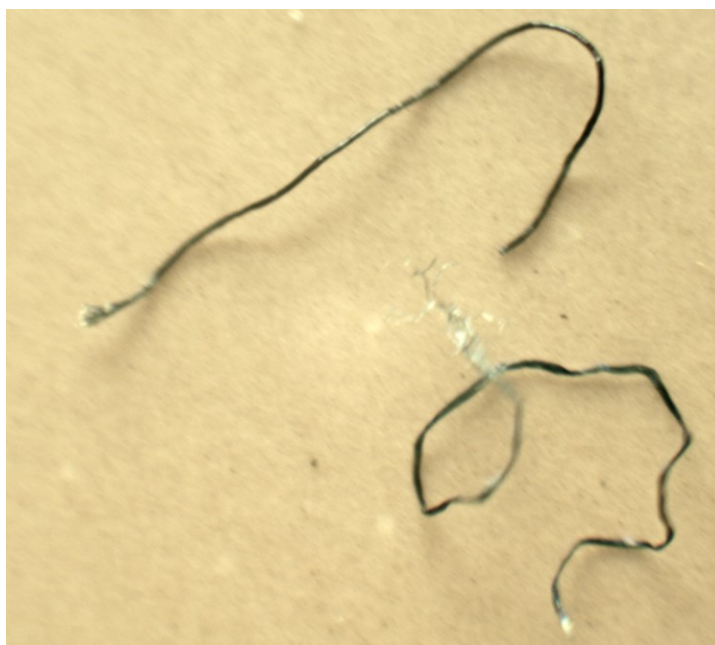


Obr. 32 - Gravimetrický filtr u vzorku 5 – opticky silné znečištění

Ferogram



Obr. 33 - Ferogram vzorku č. 5 - 40x zvětšeno = nalezena 14 μ m částice mědi, pravděpodobně z kluzného vedení



Obr. 34 – Ferogram vzorku č. 5 - 4x zvětšeno = nalezeno 1200 μ m vlákno, pravděpodobně z filtrační vložky

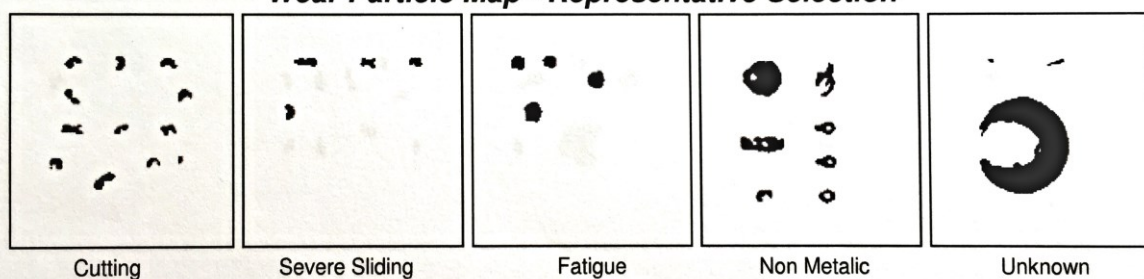
Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 2 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 5

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	223.9	70.3	28.0	91.4	123.4	9.1	0.0
Severe Sliding Wear	100.5	84.5	30.7	41.1	54.8	4.6	0.0
Fatigue Wear	1,759.3	61.9	27.4	776.8	959.6	22.8	0.0
Non Metallic Wear	374.7	249.2	60.9	36.6	164.5	100.5	73.1
Unclassified Wear	155.4	304.6	97.1	18.3	54.8	13.7	68.5

Free Water (ppm) 1,199

Wear Particle Map - Representative Selection



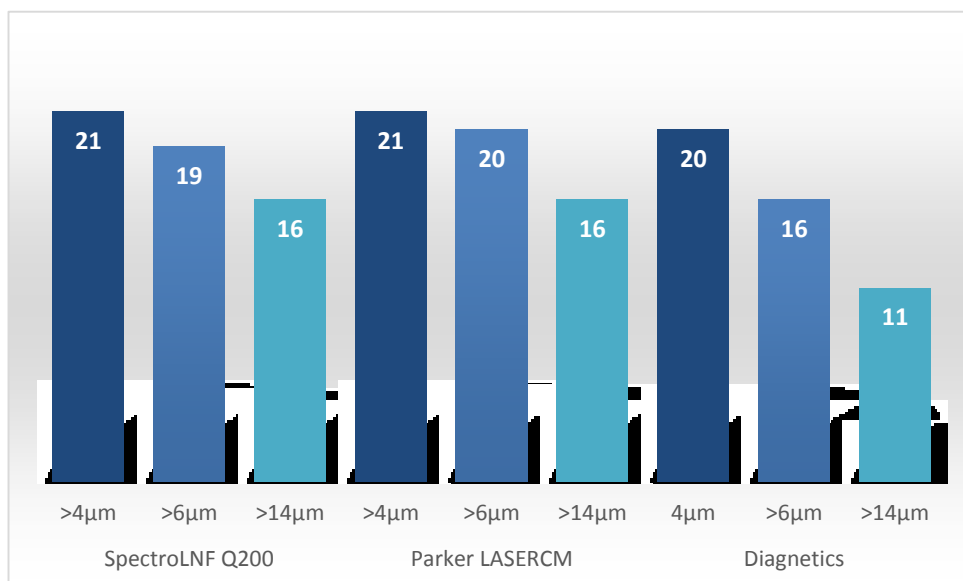
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Tento vzorek ukázal nejvíce rozporuplné výsledky. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky velmi vysoké znečištění, ačkoliv množství nečistot bylo ve srovnání s ostatními vzorky nejnižší. Tmavě hnědá barva filtračního papíru značí vysoký obsah měkkých kalů v olejové náplni, avšak ty mají nízkou hmotnost, proto neměly na gravimetrické vyhodnocení vliv. Při vyhodnocení ferogramu jsme našli měděnou částici o velikosti 14 μm a nekovová vlákna o velikosti 1200 μm . Vysoký obsah mědi byl potvrzen také dodatečným zkoumáním na rentgenovém spektrometru s výsledkem 114,7 ppm. Neželezná vlákna o velikosti větší než 100 μm našel i analyzátor SpectroLNF Q200.

7.2 Vzorek č. 7

Kód čistoty

Tab. 3 - Kód čistoty pro vzorek č. 7 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	21/19/16	21/20/16	20/16/11



Graf. 2 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 7

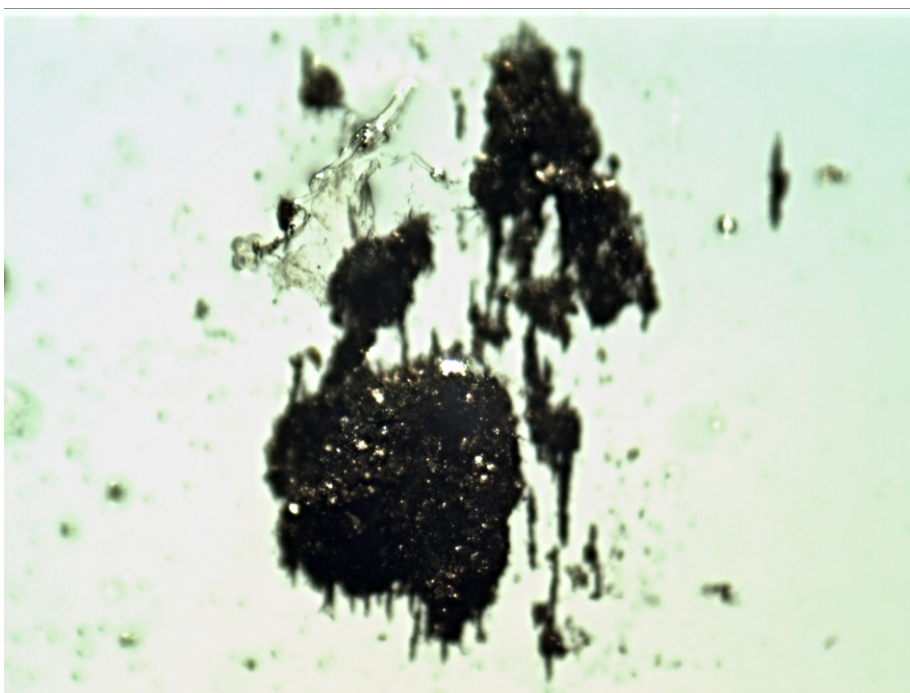
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 128,4 mg/100ml

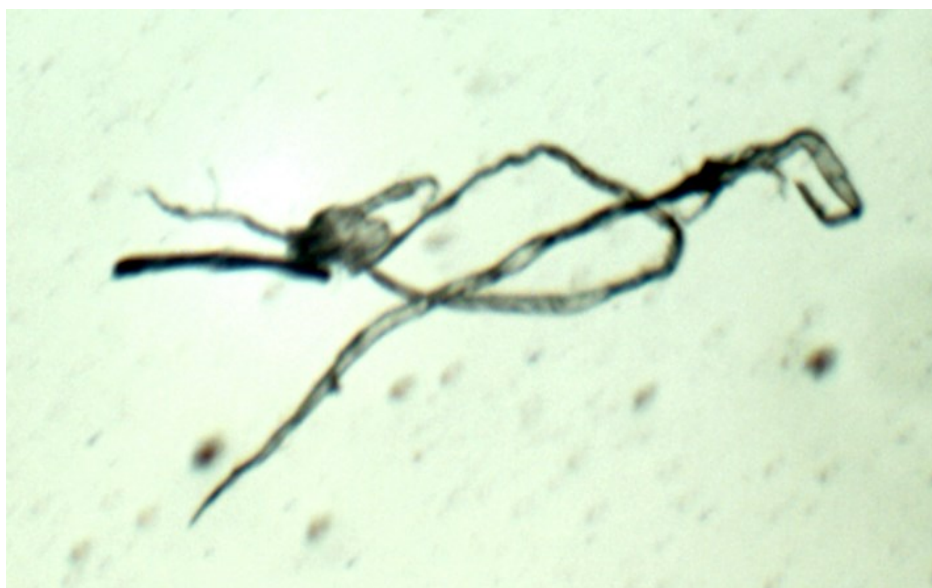


Obr. 35 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 7 – opticky střední znečištění

Ferogram



Obr. 36 - Ferogram vzorku č. 7 - 10x zvětšeno = nalezen shluk železných částic o velikosti 270 μ m a drobné shluky železných částic



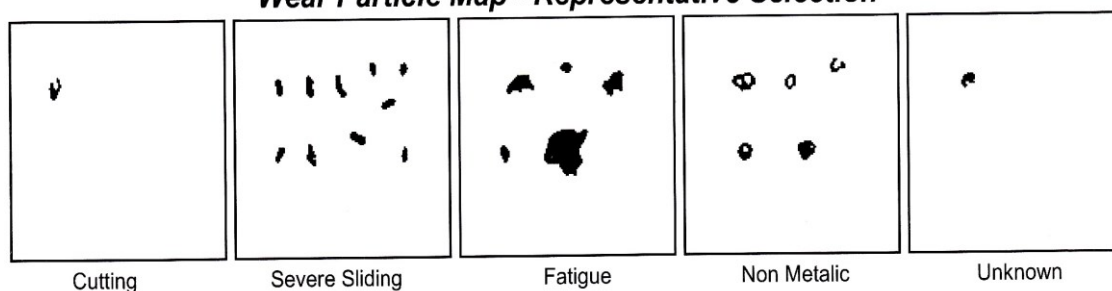
Obr. 37 - Ferogram vzorku č. 7 – 4x zvětšeno = nalezeno 680 μ m dlouhé vlákno, pravděpodobně z filtrační vložky a drobné železné částice a shluky

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 4 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 7

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	4.2	33.6	33.6	0.0	4.2	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	41.7	35.4	27.4	12.5	29.2	0.0	0.0
Fatigue Wear	116.8	91.4	39.2	45.9	41.7	29.2	0.0
Non Metallic Wear	104.3	84.5	36.6	20.9	66.7	16.7	0.0
Unclassified Wear	4.2	26.7	26.7	0.0	4.2	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



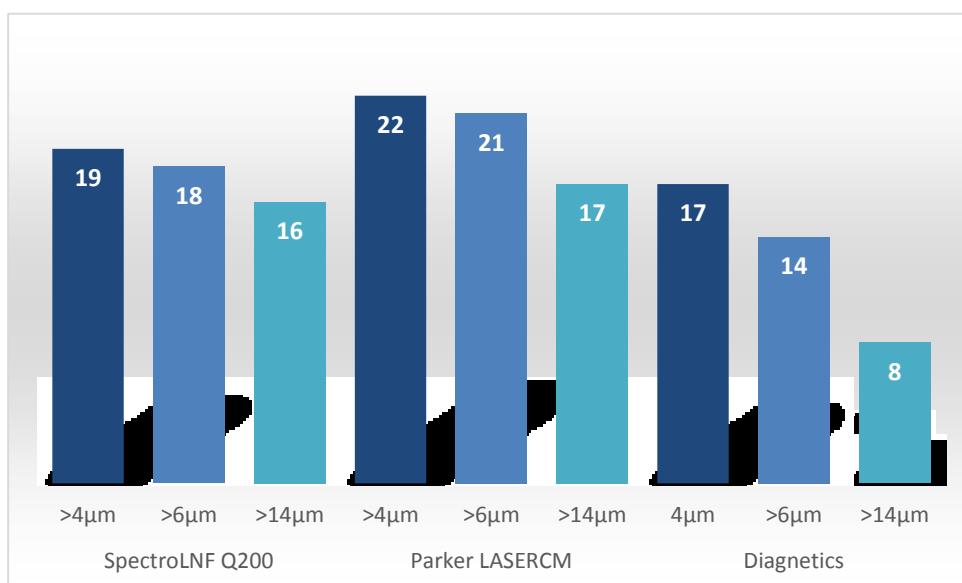
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Obě laserové metody ukazují totožné výsledky, což svědčí o přesnosti obou metod. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky střední znečištění a množství nečistot 128,4 mg/100ml je odpovídající. Při sledování morfologie částic byl na ferogramu nalezen shluk železných částic o velikosti 270 μm . Takto veliký shluk částic bohužel Spectro LNF Q200 nenašel, ale s menšími shluky neměl problém. Dále bylo nalezeno neželezné vlákno o velikosti 680 μm , které pravděpodobně pochází z filtrační vložky. Takto velikou částici analyzátor také nenašel, ale neměl problém s nalezením neželezných částic mezi 50-100 μm .

7.3 Vzorek č. 8

Kód čistoty

Tab. 5- Kód čistoty pro vzorek č. 8 dle ČSN ISO 4406/1999

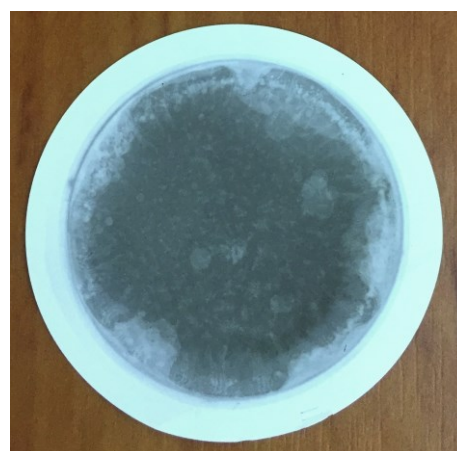
	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEk IDR
Kód čistoty	19/18/16	22/21/17	17/14/8



Graf. 3 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 8

Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 172 mg/100ml



Obr. 38 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 8 – opticky střední znečištění

Ferogram



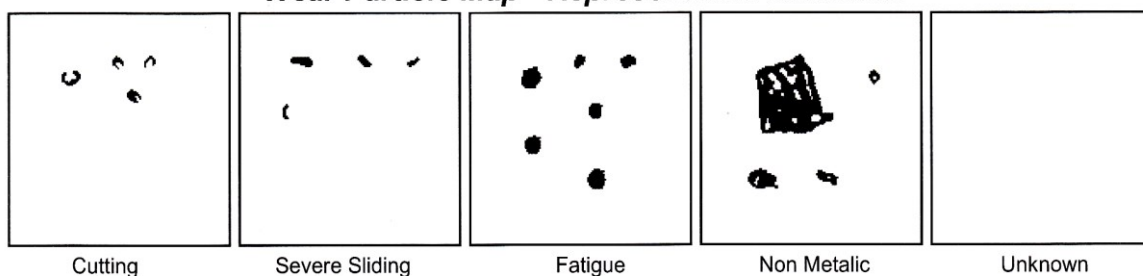
Obr. 39 - Ferogram vzorku č. 8 - 25x zvětšeno = nalezeno vlákno o velikosti 370 μ m, jasně viditelné propletení

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 6 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 8

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	16.7	32.1	24.5	12.5	4.2	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	16.7	36.0	26.6	8.3	8.3	0.0	0.0
Fatigue Wear	91.8	108.5	41.3	20.9	50.1	16.7	4.2
Non Metallic Wear	125.2	138.5	33.9	70.9	33.4	16.7	4.2
Unclassified Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



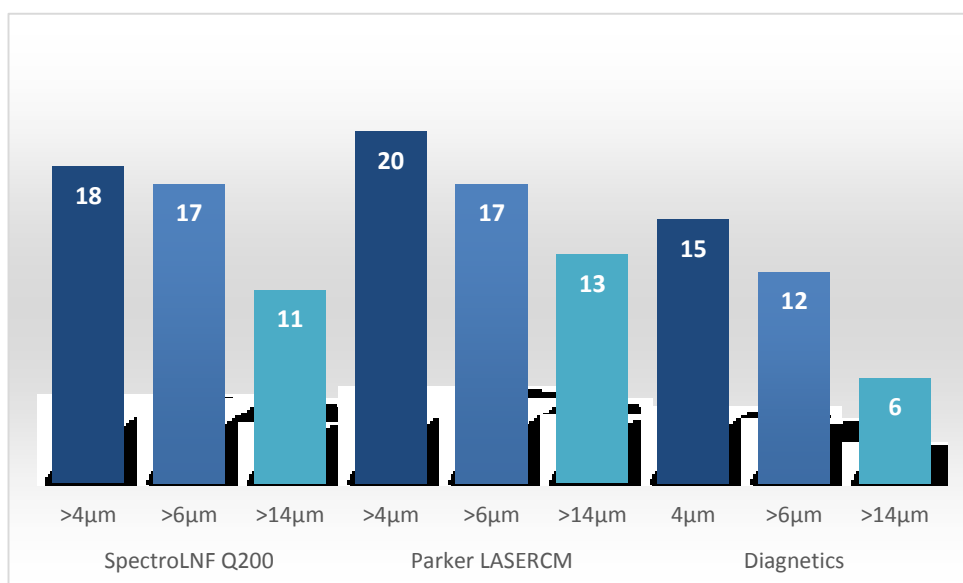
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky střední znečištění a množství nečistot 172 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu bylo nalezeno neželezné vlákno o velikosti 370 μ m, což nám potvrdil i analyzátor částic SpectroLNF Q200.

7.4 Vzorek č. 9

Kód čistoty

Tab. 7 - Kód čistoty pro vzorek č. 9 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	18/17/11	20/17/13	15/12/6



Graf. 4 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 9

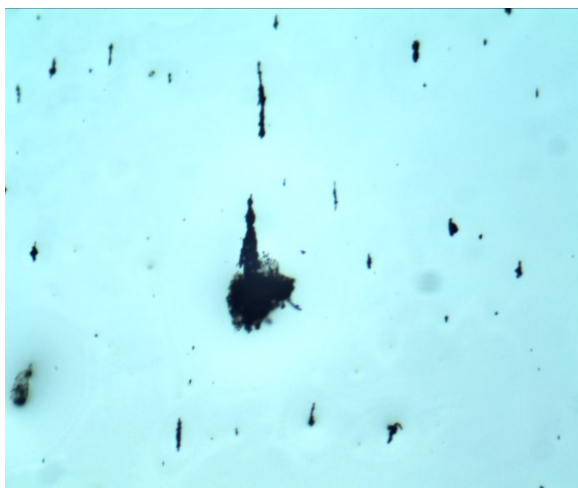
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 274,8 mg/100ml



Obr. 40 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 9 – opticky nízké znečištění

Ferogram



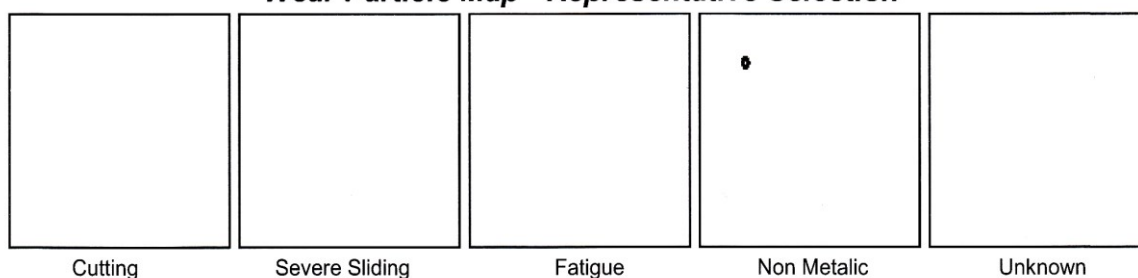
Obr. 41 - Ferogram vzorku č. 9 - 25x zvětšeno = nalezen shluk železných částic o velikosti 37 μ m a drobné železné částičky

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 8 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 9

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fatigue Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Non Metallic Wear	4.2	21.1	21.1	4.2	0.0	0.0	0.0
Unclassified Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



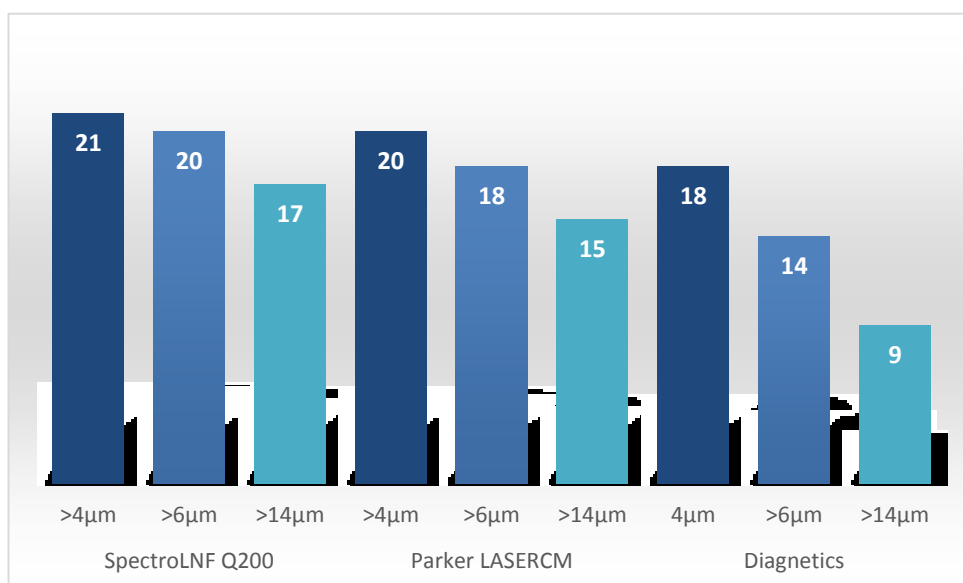
Dle výsledků byla u tohoto vzorku chyba měření na analyzátoru částic SpectroLNF Q200. Byl naměřen podezřele nízký kód čistoty a nebyly nalezeny žádné železné částice. Toto jsme vyvrátili provedeným ferogramem, kde byly nalezeny shluky částic a nejvyšší hodnotou nečistot pomocí gravimetrie.

7.5 Vzorek č. 29

Kód čistoty

Tab. 9 - Kód čistoty pro vzorek č. 29 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	21/20/17	20/18/15	18/14/9



Graf. 5 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 29

Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 163,2 mg/100ml



Obr. 42 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 29 – opticky střední znečištění

Ferogram



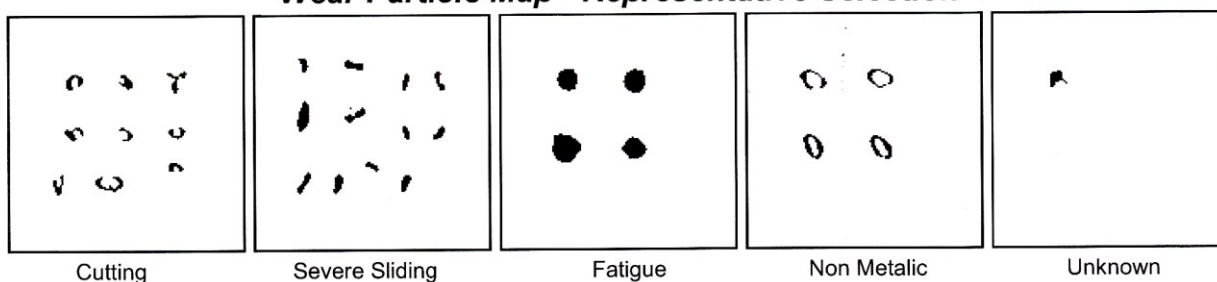
Obr. 43 - Ferogram vzorku č. 29 - 10x zvětšeno = nalezeno vlákno o velikosti 400 μ m, pravděpodobně z filtrační vložky

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 10 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 29

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	66.7	53.3	29.8	20.9	41.7	4.2	0.0
Severe Sliding Wear	50.1	45.5	29.1	16.7	33.4	0.0	0.0
Fatigue Wear	129.3	58.7	29.4	58.4	62.6	8.3	0.0
Non Metallic Wear	500.6	105.5	33.6	129.3	329.6	33.4	8.3
Unclassified Wear	4.2	28.8	28.8	0.0	4.2	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



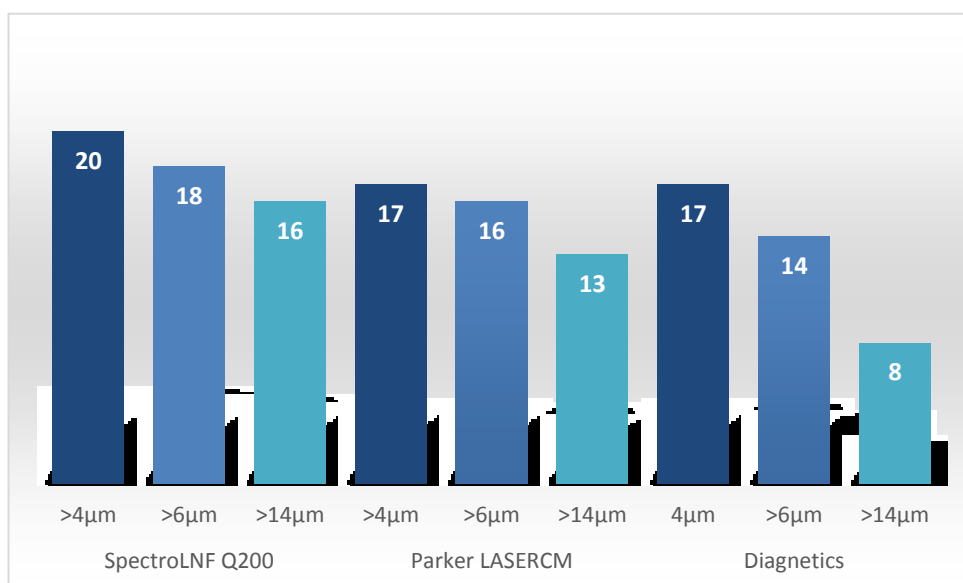
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky střední znečištění a množství nečistot 163,2 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu bylo nalezeno neželezné vlákno o velikosti 400 μ m což nám potvrdil i analyzátor částic SpectroLNF Q200.

7.6 Vzorek č. 35

Kód čistoty

Tab. 11 - Kód čistoty pro vzorek č. 35 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEk IDR
Kód čistoty	20/18/16	17/16/13	17/14/8



Graf. 6 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 35

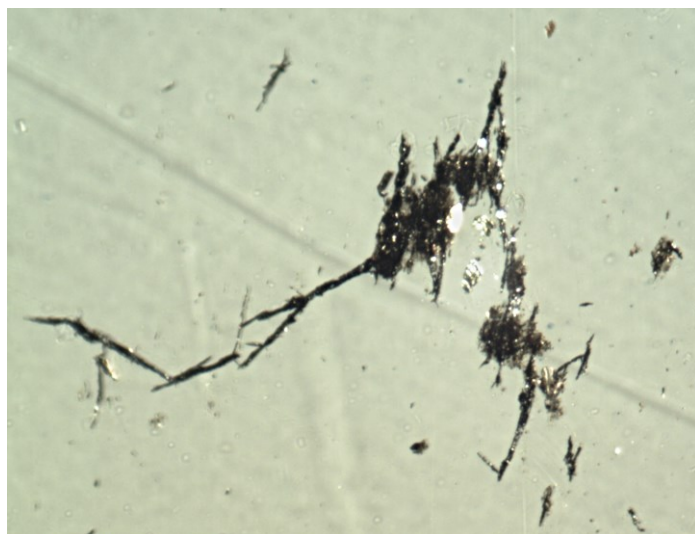
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 117,6 mg/100ml



Obr. 44- Gravimetrický filtr u vzorku č. 35 - opticky nízké znečištění

Ferogram



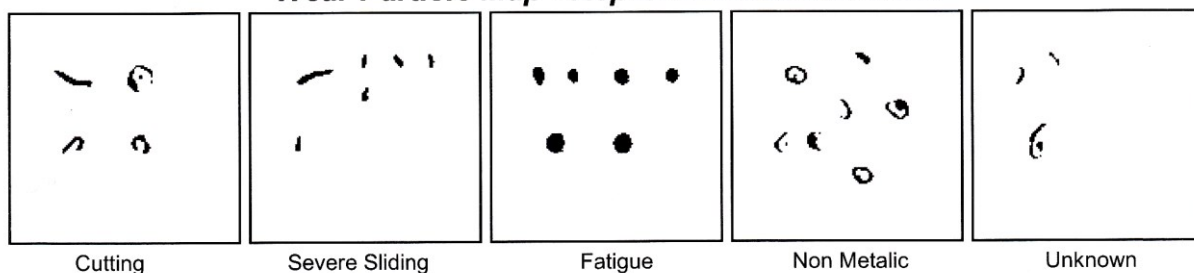
Obr. 45 - Ferogram vzorku č. 35 - 10x zvětšeno = nalezen shluk železných částic o velikosti 540 μ m

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 12 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 35

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	75.1	60.1	34.1	20.9	45.9	8.3	0.0
Severe Sliding Wear	25.0	57.8	27.9	20.9	0.0	4.2	0.0
Fatigue Wear	37.5	34.9	28.8	8.3	29.2	0.0	0.0
Non Metallic Wear	267.0	87.3	36.2	41.7	183.6	41.7	0.0
Unclassified Wear	12.5	55.5	35.6	4.2	4.2	4.2	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



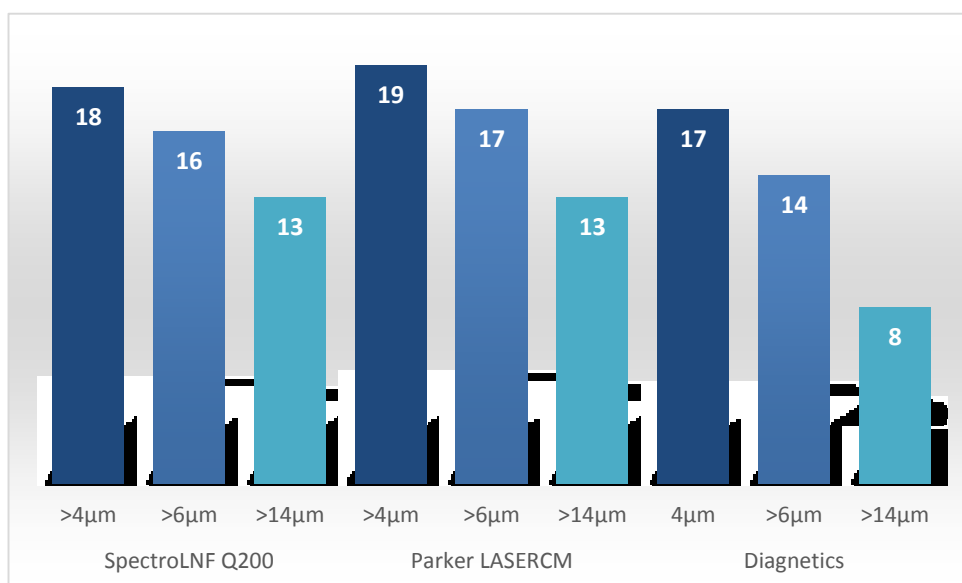
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky velmi nízké znečištění a množství nečistot 117,6 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu byl nalezen shluk železných a neželezných částic, bohužel analyzátor částic SpectroLNF Q200 nenašel žádnou částici větší než 100 μ m.

7.7 Vzorek č. 36

Kód čistoty

Tab. 13 - Kód čistoty pro vzorek č. 36 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	18/16/13	19/17/13	17/14/8



Graf. 7 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 36

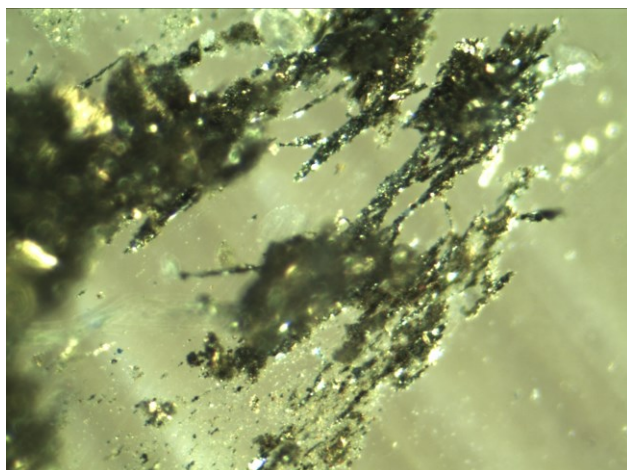
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 131,2 mg/100ml



Obr. 46 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 36 - opticky nízké znečištění

Ferogram



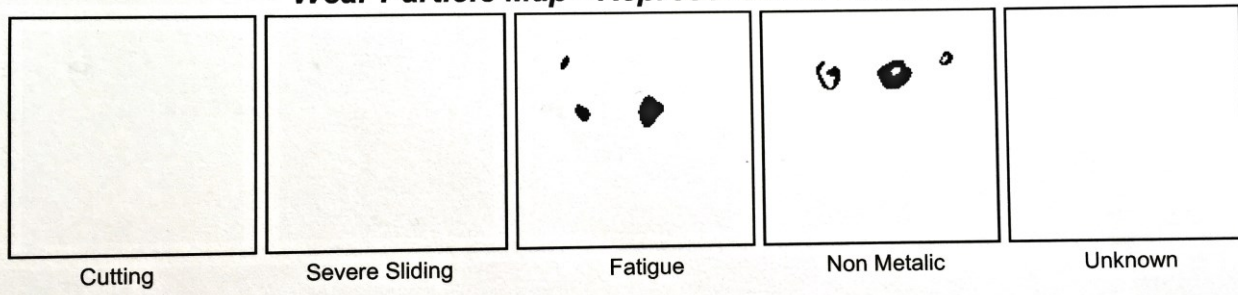
Obr. 47 - Ferogram vzorku č. 36 - 25x zvětšeno = nalezen shluk neželezných částic o velikostech cca 120 μ m a křemičité částičky (průsvitné s odlesky)

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 14 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 36

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fatigue Wear	12.5	48.0	33.0	4.2	8.3	0.0	0.0
Non Metallic Wear	12.5	52.1	40.3	4.2	4.2	4.2	0.0
Unclassified Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



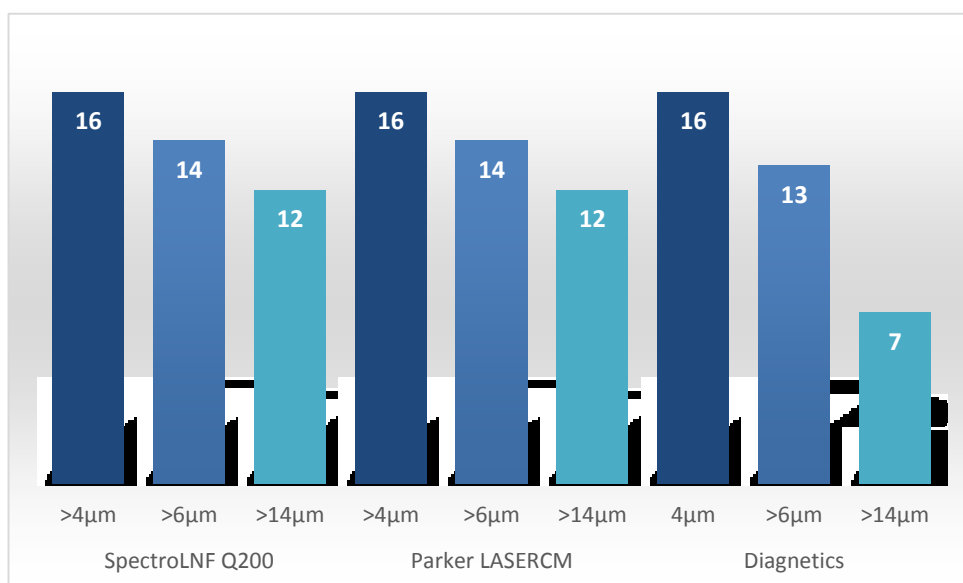
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky nízké znečištění a množství nečistot 131,2 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu byl nalezen shluk neželezných částic. Pokud by byl shluk rozdělen na jednotlivé částice, tak by i výsledky z analyzátoru odpovídaly.

7.8 Vzorek č. 42

Kód čistoty

Tab. 15 - Kód čistoty pro vzorek č. 42 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEk IDR
Kód čistoty	16/14/12	16/14/12	16/13/7



Graf. 8 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 42

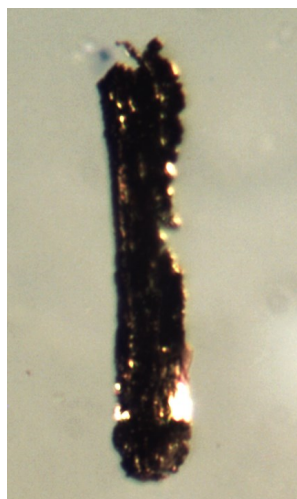
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 161,2 mg/100ml



Obr. 48 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 42- opticky nízké znečištění

Ferogram



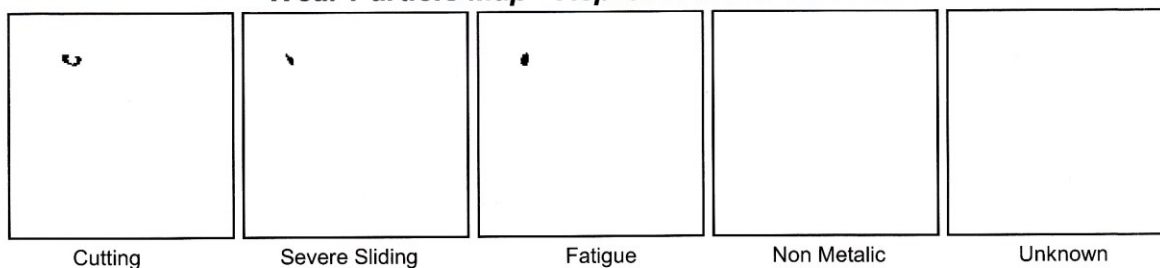
Obr. 49 - Ferogram vzorku č. 42 - 25x zvětšeno = nalezena měděná částice o rozměru 20x120 μ m, pravděpodobně se jedná o otěrovou částici kluzného vedení

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 16 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 42

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	4.2	31.2	31.2	0.0	4.2	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	4.2	21.2	21.2	4.2	0.0	0.0	0.0
Fatigue Wear	4.2	21.1	21.1	4.2	0.0	0.0	0.0
Non Metallic Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Unclassified Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



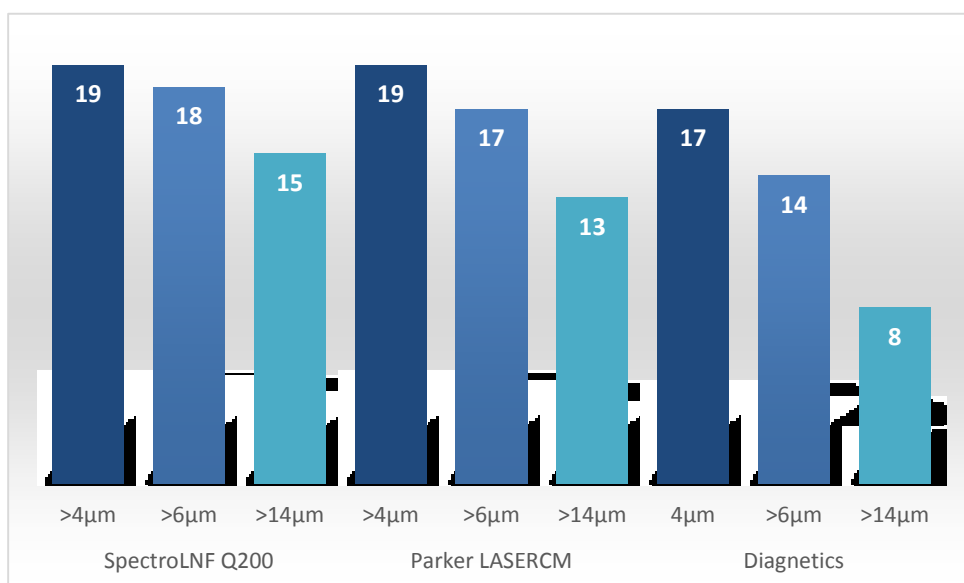
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky nízké znečištění a množství nečistot 161,2 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu byla nalezena měděná částice o velikosti 20x120 μ m, bohužel analyzátor nenalezl žádnou takto velkou částici.

7.9 Vzorek č. 43

Kód čistoty

Tab. 17 - Kód čistoty pro vzorek č. 43 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	19/18/15	19/17/13	17/14/8



Graf. 9 - Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 43

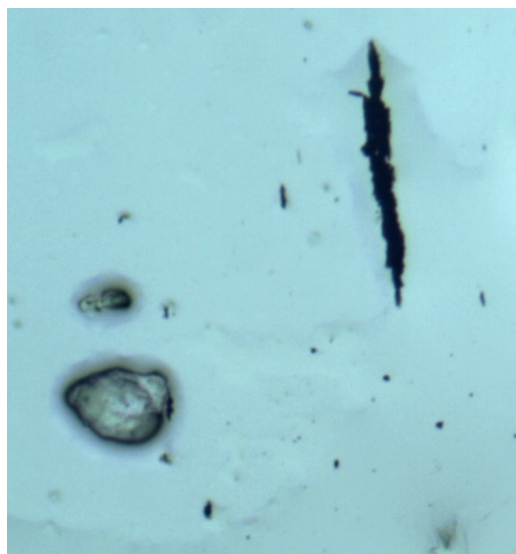
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 163,2 mg/100ml



Obr. 50 - Gravimetrický filtr u vzorku 43 - opticky nízké znečištění

Ferogram



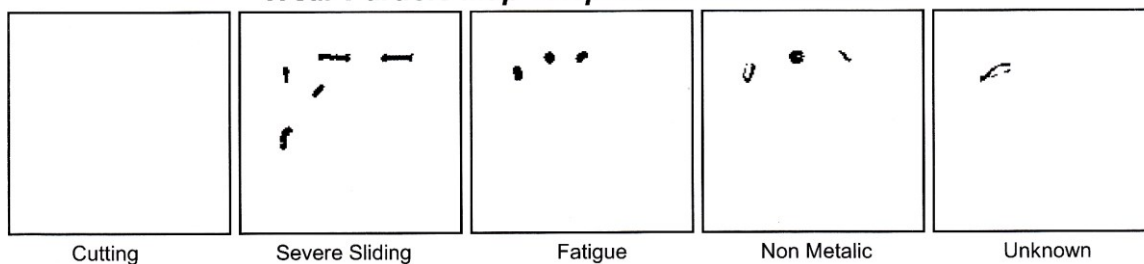
Obr. 51 - Ferogram vzorku č. 43 - 25x zvětšeno = nalezena železná částice o rozměrech 7x75 μ m (vpravo), dobré železné částice v okolí a průsvitná částice o velikosti 30 μ m, pravděpodobně křemičitý krystalky

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 18 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 43

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	20.9	52.8	38.5	4.2	8.3	8.3	0.0
Fatigue Wear	12.5	24.3	22.5	12.5	0.0	0.0	0.0
Non Metallic Wear	12.5	32.1	27.4	4.2	8.3	0.0	0.0
Unclassified Wear	4.2	55.5	55.5	0.0	0.0	4.2	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection



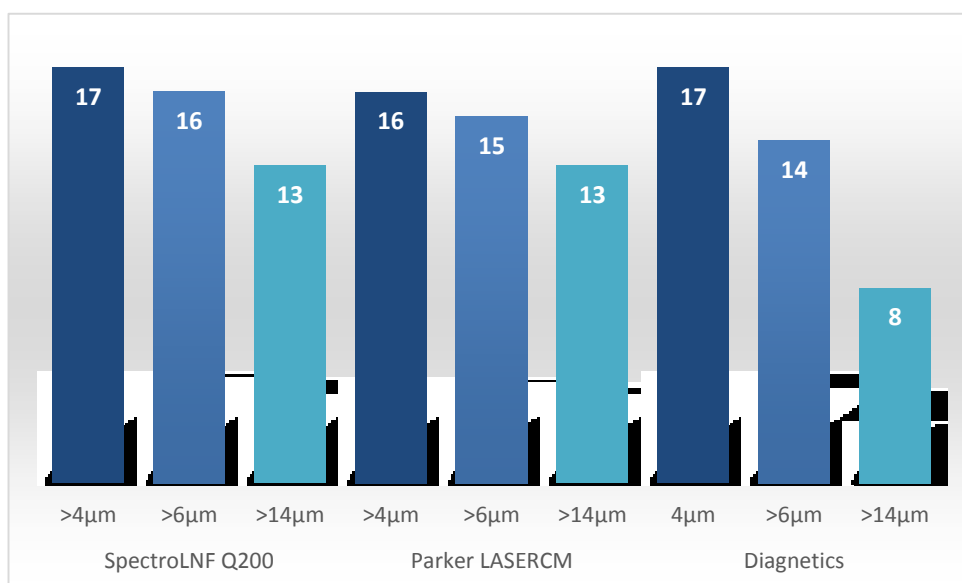
Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky nízké znečištění a množství nečistot 163,2 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu byla nalezena železná částice o velikosti 7x75 μ m a tento nález nám potvrdil i analyzátor částic.

7.10 Vzorek č. 44

Kód čistoty

Tab. 19 - Kód čistoty pro vzorek č. 44 dle ČSN ISO 4406/1999

	SpectroLNF Q200	Parker LaserCM	Diagnetics ENTEK IDR
Kód čistoty	17/16/13	16/15/13	17/14/8



Graf. 10- Porovnání kódu čistoty pro vzorek č. 44

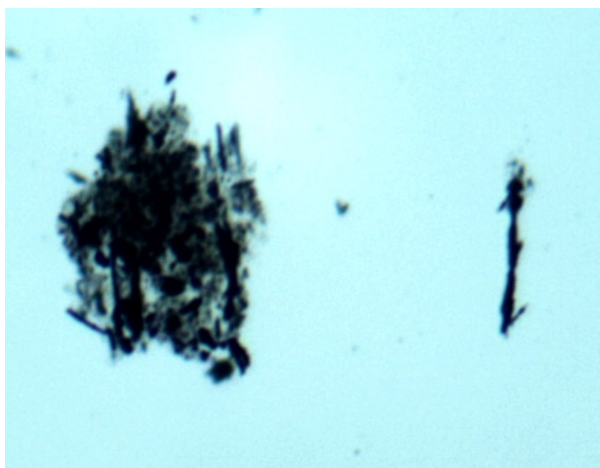
Gravimetrie

Hmotnost nečistot: 171,6 mg/100ml



Obr. 52 - Gravimetrický filtr u vzorku č. 44 - opticky střední znečištění

Ferogram



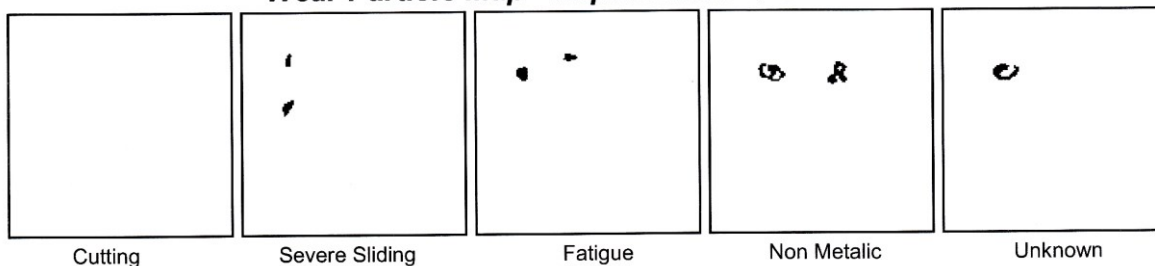
Obr. 53- Ferogram vzorku č. 44 - 25x zvětšeno = nalezen shluk železných a neželezných částic o velikosti 37x60 μ m a železná částice o velikosti 3x37 μ m (vpravo)

Výsledky měření analyzátoru částic SpectroLNF Q200

Tab. 20 - Výsledky analýzy pro vzorek č. 44

Max Diameter Method	(Part/ml)	Max(um)	Mean(um)	20-25um	25-50um	50-100um	>100um
Cutting Wear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Severe Sliding Wear	8.3	28.8	25.0	4.2	4.2	0.0	0.0
Fatigue Wear	8.3	23.4	23.1	8.3	0.0	0.0	0.0
Non Metallic Wear	8.3	43.8	41.2	0.0	8.3	0.0	0.0
Unclassified Wear	4.2	41.4	41.4	0.0	4.2	0.0	0.0

Wear Particle Map - Representative Selection

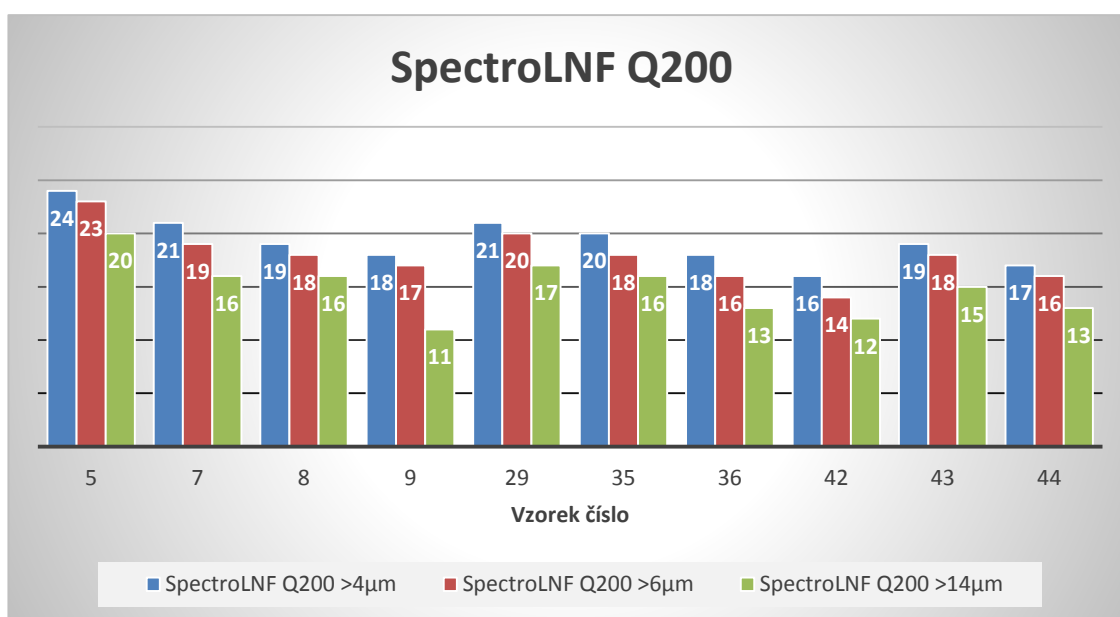


Výsledky kódu čistoty byly zapsány do tabulky a pro přehlednost vyobrazeny ve sloupcovém grafu. Filtrační papír z měření gravimetrie vykazoval opticky střední znečištění a množství nečistot 171,6 mg/100ml je odpovídající. Na ferogramu byl nalezen shluk železných a neželezných částic o velikosti 37x60 μ m a železná částice o velikosti 3x37 μ m a tento nález nám potvrdil i analyzátor částic.

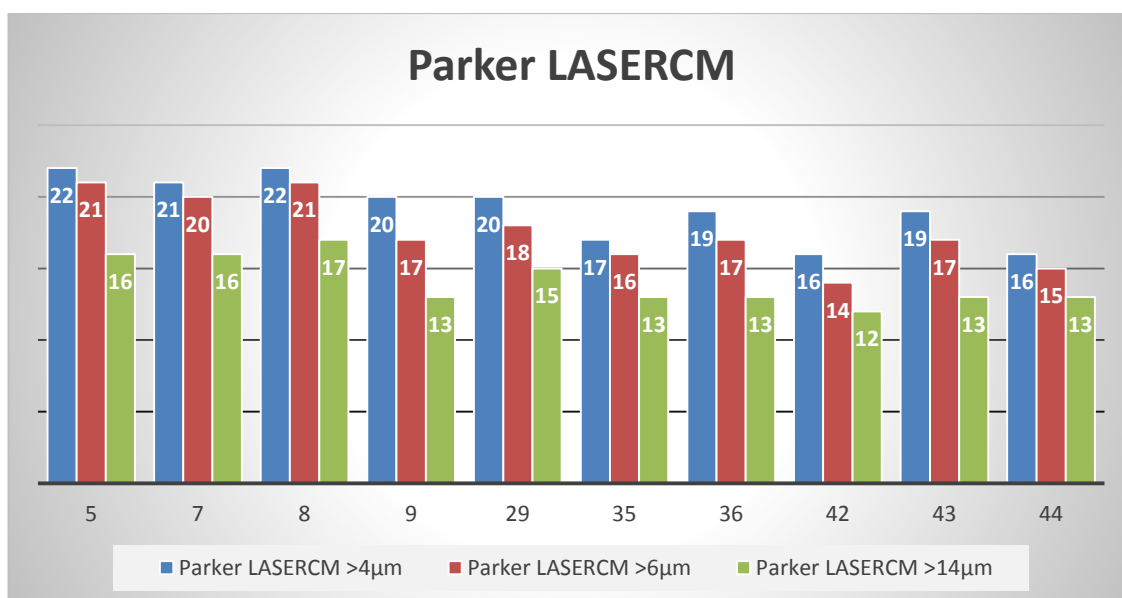
8 Zhodnocení měření

8.1 Kód čistoty

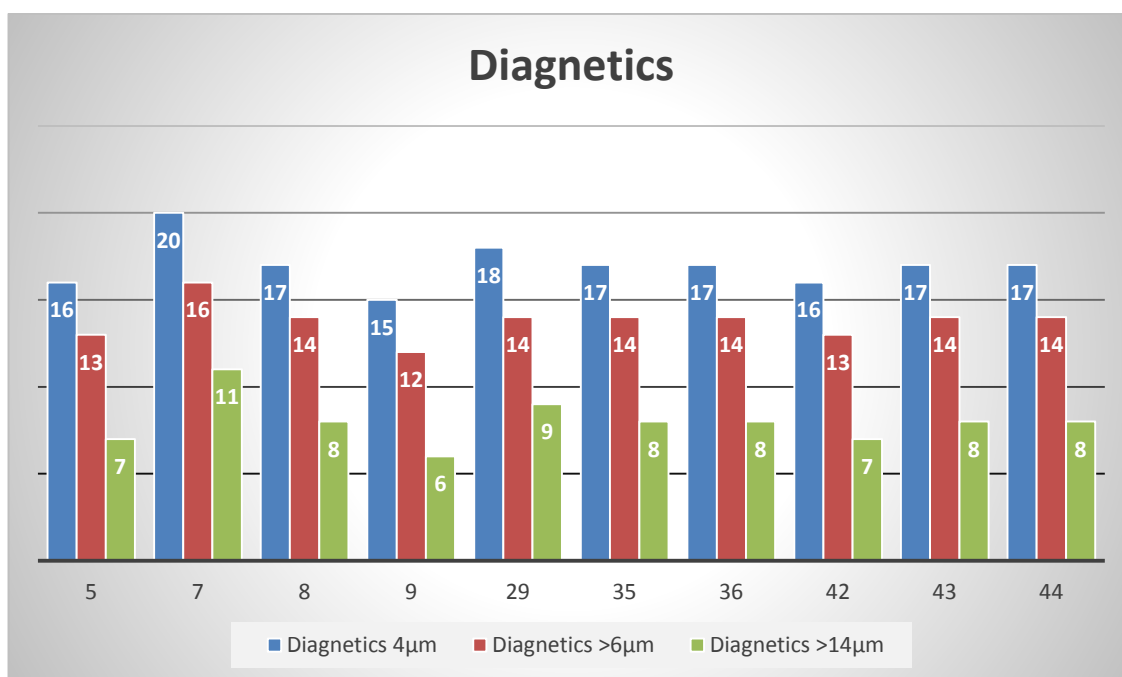
Kód čistoty byl měřen pomocí analyzátoru částic SpectroLNF Q200, laserovým čítačem částic Parker LASERCM a tlakovým laboratorním přístrojem Diagnostics ENTEK IRD. Výsledky prvních dvou jmenovaných byly ve většině případu velmi podobné, někdy i totožné. Bohužel tlakový laboratorní přístroj Diagnostics vykazoval mnohem nižší hodnoty. Největší rozdíly byly u částic o velikosti $>14\mu\text{m}$, kde se objevovaly poloviční hodnoty. Jelikož se jedná o již nepoužívaný přístroj, příčina takto velké nepřesnosti může být způsobena opotřebením přístroje, nebo se jedná o vlastnost (nedokonalost) této metody. Pro maximální přesnost měření byly všechny vzorky měřeny 2 krát. Pokud se čísla neshodovaly, bylo provedeno další měření. Pro porovnání měření na jednotlivých přístrojích byly vytvořeny sloupcové grafy pro přehledné porovnání u jednotlivých vzorků.



Graf. 11- Sloupcový graf průběhu měření kódu čistoty na přístroji SpectroLNF Q200

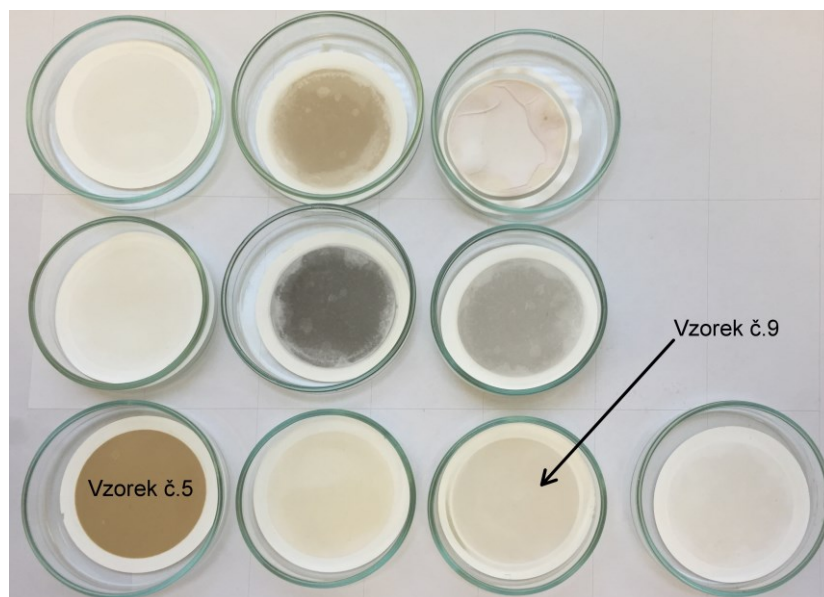


Graf. 12- Sloupcový graf průběhu měření kódu čistoty na přístroji Parker LASERCM



Graf. 13- Sloupcový graf průběhu měření kódu čistoty na přístroji Diagnetics

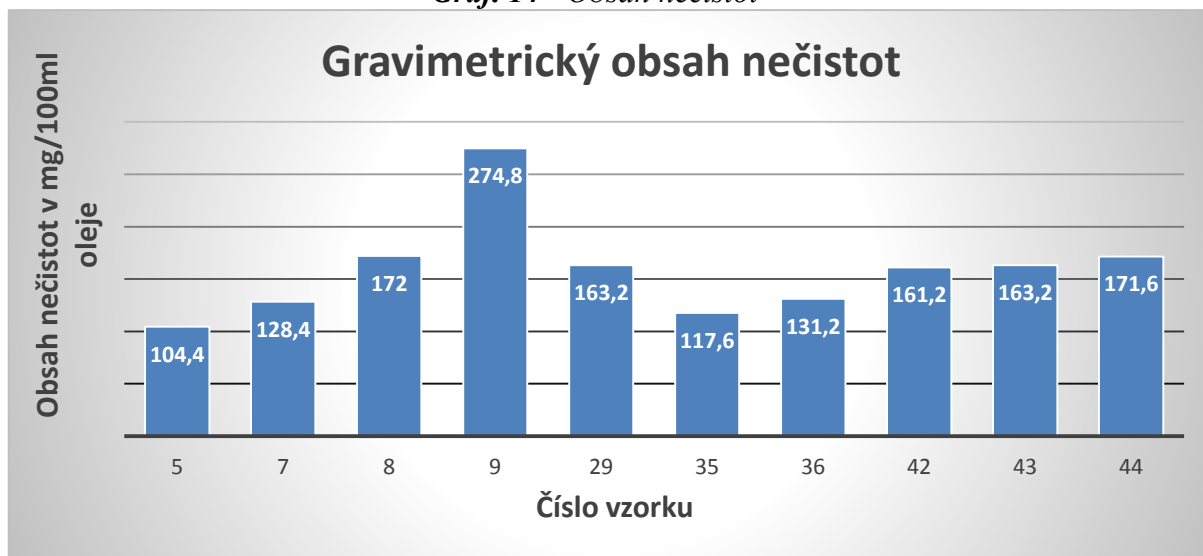
8.2 Vážková metoda - gravimetrie



Obr. 54 - Vzorky po filtraci

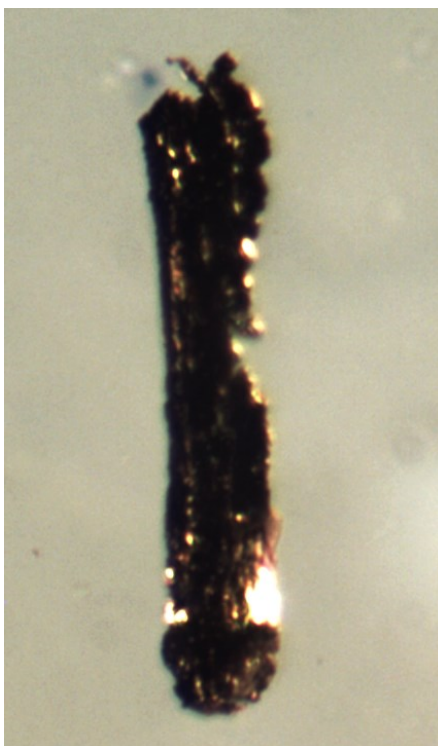
Po navážení a vypočítání hmotnosti nečistot v mg/100ml, byly hodnoty zaneseny do grafu a porovnány. Jako velké překvapení považuji velice nízkou hodnotu vzorku č. 5, i přes to, že opticky vypadal filtrační papír u tohoto vzorku nejvíce zanesený. Jeho charakteristická hnědá barva znázorňuje, že se jedná o měkké kaly a ty mají velmi nízkou hmotnost. Na obrázku (obr. 54) můžeme vidět vzorek s nejmenším a největším obsahem nečistot.

Graf. 14 - Obsah nečistot



8.3 Morfologie částic

Analýza morfologie částic probíhala porovnáváním výsledků z analyzátoru částic SpectroLNF Q200 s klasickou analytickou ferografií. Mezi nesporné výhody analyzátoru částic patří rychlost měření. Vzorek je změřen během necelých 2 minut a obsahuje informace o kódu čistoty, počtu částic, jejich velikost a informaci, o jaké opotřebení se jedná. Pouze v jediném případě jsme našli analytickou ferografii železnou částici, kterou analyzátor nenalezl. S největší pravděpodobností se jednalo o nedostatečnou homogenizaci vzorku. Klasická analytická ferografie je časově mnohem náročnější. Vytvoření ferogramu trvá okolo 15 minut a poté je třeba nechat ferogram uležet po dobu 10 min, aby se z něj odpařil přebytečný technický benzín. Až poté následuje zkoumání pod mikroskopem. Při zkoumání a porovnávání jsme došli k závěru, že analyzátor částic má problémy s velikostí částic nad 100 μm . Ty se ve vzorcích běžně objevovaly a analyzátor je našel jen zřídka. I přesto se jedná o velmi vyspělou technologii.



Obr. 55- Nalezená částice vzorku č. 42 o velikosti $20 \times 120 \mu\text{m}$, která nebyla nalezena SpectroLNF Q200

9 Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na porovnání měření kódu čistoty a zhodnocení morfologie částic v hydraulických olejích, jejichž vzorky byly odebírány z blíže nespecifikovaných hydraulických lisech. Byly použity pokročilé instrumentální metody – analýza laserovým čítačem částic Parker LASERCM, tlakový laboratorní přístroj Diagnostics, analyzátor částic SpectroLNF Q200 a klasická analytická ferografie s mikroskopickým vyhodnocením.

V teoretické části se věnujeme prezentaci firmy KOMA Commercial s.r.o. a základnímu rozdělení olejů včetně aditiv. Dále jsme se zaměřili na odborný odběr vzorku, protože se jedná o velmi důležitý parametr pro kvalitní tribodiagnostický rozbor. Poté jsme se seznámili s tribodiagnostickými metodami zjišťující množství otěrových složek v oleji a vlastní degradaci maziva.

V experimentální části jsme si důkladně představili přístroje na měření kódu čistoty a zobrazení morfologie částic. Vysvětlili jejich princip a samotný průběh měření. Provedli jsme měření na 10-ti vzorcích hydraulických olejů a výsledky jsme zpracovali do tabulek, grafů a jednotlivě zhodnotili. Na základě výsledků provedených měření jsme zhodnotili jednotlivé metody, jejich výhody a nevýhody.

10 Seznam použité literatury

- [1] Historie společnosti Koma [online]. [cit. 2015-02-13].
Dostupné z: <http://www.komacommercial.cz/historie-spolecnosti/>
- [2] Provoz, diagnostika a údržba strojů. [online]. [cit. 2015-02-17].
Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/>
- [3] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika / František Helebrant, Jiří Ziegler, Daniela Marasová.* 1.vyd. Ostrava : Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2000. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [4] CONTROLS S.r.l. group [online]. [cit. 2015-02-22].
Dostupné z: <http://www.strojeprozkusebnictvi.cz/analyzator-bodu-vzplanuti-podle-clevelanda.html>
- [5] ROFA Praha s.r.o. [online]. [cit. 2015-02-22].
Dostupné z: <http://www.rofa-praha.cz/>
- [6] METROHM [online]. [cit. 2015-02-22].
Dostupné z: http://www.metrohm.cz/news/26_899_Coulometr
- [7] OLEJE CZ [online]. [cit. 2015-02-23].
Dostupné z: <http://www.oleje.cz/>
- [8] PETROLEUM. [online]. [cit. 2015-03-01].
Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/>
- [9] g.t. BiG s.r.o. [online]. [cit. 2015-03-09].
Dostupné z: <http://www.gtbig.cz>
- [10] BLAZEK-OIL [online]. [cit. 2015-04-19].
Dostupné z: <http://www.blazek-oil.cz/>
- [11] Ing.Sláčik S., *Atlas otěrových částic pro ferografii.* Vyd. REO TRADE, s.r.o., 42 s,

- [12] Atomová absorpční spektrometrie - WIKIPEDIE [online]. [cit. 2015-05-14].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Atomová_absorpční_spektrometrie
- [13] SpectroLNF Q200 Series – Příručka pro obsluhu a údržbu LNF-211
Rev.A/Srpen 2014
- [14] Diagnostics – PCM Uživatelský manuál Verze 3.1, 1996